

# فيدياء المستقبل

العلم يشكل مصير البشرية عام 2100

ميتشيو كاكو

ترجمة

طارق راشد عليان



# فيزياء المستقبل

العلم يشكّل مصير البشرية عام 2100



③ المجلة العربية، 1434هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

كاكو ، ميتشيو

فيزياء المستقبل : العلم يُشكل مصير البشرية عام 2100م. / ميتشيو كاكو ؛ طارق راشد عليان.

– الرياض، 1434هـ

716 ص؛ 21x14 سم (إصدارات المجلة العربية ؛ 63)

ردمك: 978-603-8086-11-7

1- التقنية أ.عليان ، طارق راشد (مترجم) ب.العنوان ج.السلسلة

143/8107

ديوي 620

رقم الإيداع: 1433/8107

ردمك: 978-603-8086-11-7

## Physics of the Future

MICHIO KAKU

## Anchor Books

**A Division of RANDOM HOUSE, INC**

**New york**

**First Edition,**

## February 2012

ضمن التعاون المشترك بين المجلة العربية ومدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

«الثقافة العلمية للجميع»

جميع حقوق الطبع محفوظة، غير مسموح بطبع أي جزء من أجزاء هذا الكتاب، أو اختراعه في أي نظام لاختران المعلومات واسترجاعها، أو نقله على أية هيئة أو بآية وسيلة سواء كانت إلكترونية أو شرائط مغنطة أو ميكانيكية، أو استنساخاً، أو تسجيلاً، أو غيرهما إلا في حالات الاقتباس المحدودة بغرض الدراسة مع وجوب ذكر المصدر.

# فيزياء المستقبل

العلم يشكّل مصير البشرية عام 2100

تأليف

ميتشيو كاكو

ترجمة

طارق راشد عليان

الطبعة الأولى

1434هـ - 2013م

كتاب  
العربية

63

كتاب  
العربية  
63

رئيس التحرير

د. عثمان الصيني

[www.arabicmagazine.com](http://www.arabicmagazine.com)

لمراسلة المجلة على الإنترنت

[info@arabicmagazine.com](mailto:info@arabicmagazine.com)

---

الرياض: طريق صلاح الدين الأيوبي (الستين) - شارع المنفلوطي

تليفون: 4778990 - 1 - 966 فاكس: 4766464 - 1 - 966

ص.ب 5973 الرياض 11432

## المحتويات

7	• مقدمة
21	• تمهيد
	• الفصل الأول
41	مستقبل الحاسوب العقل يسمو على المادة
	• الفصل الثاني
127	مستقبل الذكاء الاصطناعي ثورة الآلات
	• الفصل الثالث
229	مستقبل الطب المثالية وما بعدها
	• الفصل الرابع
335	تكنولوجيا النانو كل شيء من لا شيء
	• الفصل الخامس
411	مستقبل الطاقة طاقة من النجوم
	• الفصل السادس
499	مستقبل رحلات الفضاء إلى النجوم
	• الفصل السابع
577	مستقبل الثروة ... الراحون والخاسرون
	• الفصل الثامن
639	مستقبل البشرية الحضارة الكوكبية
	• الفصل التاسع
687	يوم في حياة عام 2100



## مقدمة

# التنبؤ بالأعوام المئة المقبلة

«إمبراطوريات المستقبل هي إمبراطوريات العقل»

- ونستون تشرشل<sup>(1)</sup> Winston Churchill

عندما كنت طفلاً، مررت بتجربتين ساعدتاني على تشكيل شخصيتي التي أتمتع بها اليوم كما أنهما ولدتا لدي عاطفتين ساعدتا على تحديد إطار لحياتي بأكملها.

الأولى، وقعت عندما كنت في الثامنة من عمري، أتذكر ساعتها جميع المعلمين وهم يهتممون بآخر الأنباء، حيث توفي عالم جليل لتوه. وفي تلك الليلة، نشرت الصحف صورة لمكتبه الذي كان يعمل به، وفوق سطح المكتب مخطوطة بخط يده لكتاب لم يكتمل بعد. وكتب تعليقاً على الصورة: إن أعظم علماء عصرنا لم يتمكن من إكمال تأليف أعظم مؤلفاته. وسألت نفسي عما يمكن أن يكون. يمثل هذه الصعوبة لدرجة أن عالماً عظيماً كهذا الرجل لم يتمكن من إتمامه؟ وما الذي يمكن أن يكون

---

(1) ونستون تشرشل Winston Churchill: أحد أهم الزعماء في تاريخ بريطانيا والعالم الحديث، وكان قد شغل منصب رئيس وزراء بريطانيا خلال الحرب العالمية الثانية، وكان لخطاباته أثر كبير على قوات الحلفاء، حصل على جائزة نوبل في الأدب سنة 1953. (المترجم)

بهذه الدرجة من التعقيد والأهمية؟ وبالنسبة لي، فقد صار الأمر في نهايته أكثر إثارة من أي جريمة قتل غامضة، وأكثر إمتاعاً من أي قصة مغامرات أقرأها، وكان علي أن أعلم ما الذي تحويه هذه المخطوطة غير المكتملة. وبعدها، تبينت أن اسم هذا العالم ألبرت أينشتاين Albert Einstein وأن المخطوطة التي لم تكتمل كانت ستمثل تنويجا لإنجازاته، وأن محاولته التوصل إلى (نظرية كل شيء)، وهي معادلة ربما لا يزيد طولها عن بوصة واحدة، من شأنها أن تميّط الثام عن أسرار الكون وربما تتيح له التعرف على بعض الأمور الغيبية. غير أنني خضت تجربة محورية أخرى في طفولتي عندما كنت أشاهد برامج صباح السبت التلفزيونية، لاسيما مسلسل (فلاش جوردون) Flash Gordon من بطولة بستر كراب Buster Crabbe<sup>(1)</sup>. فقد كانت أنفي تلتصق بشاشة التلفاز كل أسبوع، حيث كنت أنتقل بطريقة سحرية إلى عالم الكائنات الفضائية الغامض وسفن الفضاء، والمعارك التي تستخدم فيها بنادق الإشعاعات، والمدن المقامة تحت سطح الماء، والوحوش المخيفة. وكنت مفتونا بذلك، وكانت تلك أولى تجاربي التي أعترف فيها على عالم المستقبل. ومنذ ذلك الحين، أشعر بتعجب طفولي كلما فكرت ملياً في أمر المستقبل.

لكنني بعد أن شاهدت جميع حلقات المسلسل، أدركت أنه برغم استحواذ (فلاش) على آهات الإعجاب جميعها، فإن العالم د. زاركوف

(1) فلاش جوردون Flash Gordon: مسلسل أمريكي ظهر بين عامي 1938 و1940 ثم عرض بكثافة على المحطات التلفزيونية خلال فترة الخمسينيات والستينيات ولعب دور البطولة فيه النجم الرياضي (بستر ليندن كراب) (1908 - 1983) والذي لعب أيضاً دور طرزان في أعمال أخرى. (المترجم)



Dr. Zarkov كان بمثابة الصانع الحقيقي لنجاح المسلسل. لقد ابتكر السفينة الصاروخ، ودرع الاختفاء عن الأنظار، ومصدر الطاقة للمدينة التي أقيمت في السماء.. إلخ. فدون العالم، لا يوجد مستقبل. وربما حاز كل من الرجل الوسيم والمرأة الجميلة إعجاب المجتمع، في الوقت الذي تكون فيه جميع الابتكارات العجيبة التي تصنع المستقبل؛ نتاجا ثانويا لعلماء مجهولين لا يحتفي بهم أحد.

وبعدها، عندما كنت طالبا في المدرسة الثانوية، قررت أن أحذو حذو هؤلاء العلماء العظماء وأن أضع بعض ما تعلمته قيد الاختبار. لقد أردت أن أشكل جزءا من هذه الثورة العظيمة التي بدا من شأنها أنها ستغير وجه العالم. فقررت بناء (محطم ذري) atom smasher<sup>(1)</sup>. وطلبت من والدتي السماح لي ببناء معجل جزيئات بقدر 2.3 مليون إلكترون فولت في المآرب. وفزعت والدتي في البداية بعض الشيء غير أنها منحتني موافقتها. وبعدها، توجهت إلى (وستنجهاوز) و(فاريان أسوشييتس)، فاشتريت 400 رطل من فولاذ المحولات، وما طوله 22 ميلا من السلك النحاسي، وجمعت معجل بيتاترون في جراج والدتي.

وفيما سبق كنت قد بنيت غرفة سحب ذات مجال مغناطيسي قوي وقمت بتصوير آثار (المادة المضادة) فوتوغرافيا.<sup>(2)</sup> غير أن تصوير المادة المضادة لم

(1) محطم ذري Atom Smasher: الاسم القديم لجهاز السيكلترون وهو جهاز تحطيم أنوية الذرات. (الترجم)  
(2) المادة المضادة Antimatter: أحد مفاهيم فيزياء الجسيمات التي أثارت جدلا لم يحسم حتى الآن، ويعود تاريخ النظريات التي تحدثت عنها إلى ثمانينيات القرن التاسع عشر على يد العالم وليم هيكنس. ويفترض فيها أن المادة المضادة مكونة من إلكترونات تحمل شحنة موجبة؛ أي أن كل جسيم في المادة التي نعرفها يقابله جسيم يحمل الشحنة المضادة له. (الترجم)

يكن كافيا. لقد صار هدفي الآن إنتاج شعاع من المادة المضادة. وكانت الملفات المغناطيسية للمحکم الذري آنذاك قادرة بنجاح على إنتاج مجال مغناطيسي ضخمة بقوة 10 آلاف جاوس<sup>(1)</sup> (أي ما يعادل حوالي 20 ألف مرة قدر المجال المغناطيسي لكوكب الأرض، وهو مجال كافٍ من حيث المبدأ لجذب الشاكوش من يدك على الفور). وامتصت الماكينة ما وصل إلى 6 كيلو واط من الطاقة، فسحبت كل الكهرباء التي زودني المنزل بها. وكثيرا ما كانت منصهرات المنزل تتلف، عندما كنت أدير الماكينة. (لا بد أن أُمي المسكينة تساءلت فيما بينها لم لم يرزقها الله بصبي يهوى لعب الكرة بدلا من ذلك).

فهناك إذن شعغان أصاباني بالحيرة طيلة حياتي؛ رغبتني في فهم جميع قوانين الفيزياء في الكون لتضمها جميعا نظرية واحدة متماسكة الأركان، وكذلك ولعي بمشاهدة المستقبل. وفي نهاية المطاف، أدركت أن هاتين العاطفتين تكملان بعضهما البعض في واقع الأمر. إن مفتاح فهم المستقبل يكمن في الإمساك بتلابيب القوانين الأساسية التي تحكم الطبيعة ثم تطبيق تلك القوانين على البيئة والآلة والعلاج من الأمراض، وهي العناصر التي ستعيد تعريف حضارتنا في المستقبل البعيد.

كانت هناك فيما مضى، حسبما تبين لي، العديد من المحاولات الرامية للتنبؤ بالمستقبل، وكان الكثير منها مفيدا ويحمل رؤية ثاقبة، غير أنها

(1) جاوس Gauss: وحدة قياس المغناطيسية بنظام ستيمر جرام ثانية والتي سميت على اسم العالم والرياضي الألماني الكبير كارل فريدريش جاوس (1777 - 1855). (المترجم)

كتبت في الغالب بأقلام مؤرخين، وعلماء اجتماع، وكتاب خيال علمي ومتنبئين بالمستقبل؛ أي أنهم أشخاص ينتمون لجهات خارجية يتنبؤون بعالم العلم دون معرفة مباشرة بالعلم ذاته. أما العلماء، وهم أهل المهنة وأصحاب الشأن الحقيقيون الذين يصنعون المستقبل فعلا داخل معاملهم، فكانوا منشغلين تماما بالقيام بفتوحات علمية، حيث لم يكن لديهم وقت لتأليف كتب يقرأها عامة الناس تتحدث عن المستقبل.

ولهذا فإن كتابي هذا مختلف، وآمل أن يقدم هذا الكتاب للقارئ وجهة نظر أحد المنتمين لعالم العلوم عن الاكتشافات المعجزة التي تنتظرنا وأن يقدم النظرة الأكثر أصالة ومصادقية على عالم 2100.

وبطبيعة الحال، فإن من المستحيل التنبؤ بالمستقبل بدقة متناهية، ومن ثم أشعر أن أفضل ما في وسع المرء أن يصنعه؛ إنما هو استكشاف ما يدور داخل عقول علماء بلغوا ذرى البحث العلمي، ويقومون بأعمال جليلة لأجل ابتكار المستقبل. إنهم من يصنع الأجهزة، والاختراعات، وأساليب العلاج التي تصنع الثورة الحضارية. وهذا الكتاب يحكي قصتهم، فقد سنحت لي الفرصة لأكون في مقام الصدارة من هذه الثورة العظيمة، بعد أن أجريت لقاءات حوارية مع أكثر من 300 من كبار علماء العالم ومفكره وحاميه لصالح التلفزيون والإذاعة الوطنيين. لقد اصطحبت أيضا أطقم التصوير التلفزيوني إلى معامل هؤلاء لتصوير النماذج الأولى من أجهزتهم الجديرة بالإعجاب والتي ستغير وجه مستقبلنا. كان شرفا رفيعا لي وفرصة نادرة الحدوث أن أستضيف العديد من العلماء المتميزين لصالح تلفزيون بي بي سي، وقناة ديسكفري، وقناة ساينس؛ لأصور تلك الابتكارات

والاكتشافات الجديرة بالثناء لأولئك الحالمين الذين يملكون الجرأة على ابتكار المستقبل. إن تمتعي بالحرية في متابعة عملي في نظرية (الخيط)<sup>(1)</sup> (String theory)، بالإضافة إلى استراق السمع في الوقت نفسه لمتابعة الأبحاث رفيعة المستوى التي ستصنع ثورة خلال هذا القرن؛ أمر يجعلني أشعر بأنني أعمل في أحب وظيفة كنت أتمناها في مجال العلم، وأن حلم طفولتي يتحقق.

غير أن هذا الكتاب مختلف عن كتبي السابقة، ففي كتب مثل Beyond Einstein، وHyperspace، وParallel Worlds، كنت أناقش الرياح الثورية الجديدة التي تهب على مجال تخصصي الفيزياء النظرية، تلك التي تفتح دروبا جديدة نحو فهم حقيقة الكون. وفي كتابي Physics of the Impossible، ناقشت مسألة آخر الاكتشافات في مجال الفيزياء وكيف يمكن لها في النهاية أن تجعل أكثر الأفكار وخطط الخيال العلمي جموحا؛ أمرا يمكن التحقيق.

هذا الكتاب يشبه كثيرا كتابي Visions، الذي ناقشت فيه الكيفية التي سيتطور بها العلم خلال العقود المقبلة. وأجدني أشعر بالامتنان لأن كثيرا

(1) نظرية في فيزياء الجسيمات، نظرية الأوتار أو النظرية الخيطية، بالإنكليزية: (String Theory) هي مجموعة من الأفكار الحديثة حول تركيب الكون تستند إلى معادلات رياضية معقدة. تنص هذه المجموعة من الأفكار على أن الأشياء أو المادة مكونة من أوتار حلقيّة مفتوحة وأخرى مغلقة متناهية في الصغر لا سمك لها وأن الوحدة البنائية الأساسية للدقائق العنصرية، من الإلكترونات وبرتونات ونيوترونات وكواركات، عبارة عن أوتار حلقيّة من الطاقة تجعلها في حالة من عدم الاستقرار الدائم وفق تواترات مختلفة، وأن هذه الأوتار تتذبذب وتتحد وفقها طبيعة وخصائص الجسيمات الأكبر منها مثل البروتون والنيوترون والإلكترون. أما أهم نقاط هذه النظرية فهي أنها تأخذ في الحسبان قوى الطبيعة كافة؛ الجاذبية والكهر ومغناطيسية والقوى النووية، فتوحدها في قوة واحدة ونظرية واحدة، تسمى النظرية الفائقة بالإنكليزية. (M - Theory) (المترجم)

من التنبؤات التي وردت في ذلك الكتاب تتحقق اليوم في موعدها الذي ذكرته. لقد اعتمد كتابي في دقته إلى حد بعيد على الحكمة وبعد النظر اللذين تمتع بهما الكثير من العلماء من التقيت بهم أثناء تأليفه. غير أن هذا الكتاب الذي بين يديك يتبنى رؤية أكثر توغلا بكثير في المستقبل، إذ يناقش التقنيات التي يتوقع لها أن تصل إلى مرحلة النضوج خلال مائة عام، والتي ستحدد في نهاية المطاف مصير الإنسانية. إن أسلوبنا في التعامل مع التحديات والفرص التي ستواتنا خلال الأعوام المئة المقبلة سوف يحدد المسار النهائي للبشرية.

## التنبؤ بالقرن المقبل

إن التنبؤ بالسنوات القليلة المقبلة، ناهيك عن مستقبل قرن من الزمان ابتداء من الآن، يعد مهمة مرعبة. غير أنها مهمة تتحدى أن نحلم بالتقنيات التي نؤمن بأنها ستغير يوما ما مصير الإنسانية. وفي عام 1863، كتب الروائي العظيم (جول فيرن) Jules Verne واحدة ربما كانت أكثر أعماله طموحا. لقد كتب قصة تنبؤية اسمها (باريس في القرن العشرين) Paris in the Twentieth Century، وفيها استعان بكامل طاقة مواهبه الهائلة في التنبؤ بالقرن المقبل. وبلاأسف، ضاع نص القصة في ضباب الأيام، إلى أن عثر عليه حفيده الأكبر بالمصادفة قابعا داخل خزانة ظلت مغلقة عليه بعناية قرابة 130 عاما، وبعد أن أدرك قيمة الكنز الذي عثر عليه، رتب الأمر لكي ينشر العمل عام 1994، وحقق الكتاب أفضل المبيعات.

في ذلك التاريخ البعيد عام 1863، كان الملوك والأباطرة ما يزالون يحكمون الممالك القديمة، التي يؤدي فيها الفلاحون الفقراء أعمالهم الشاقة التي تقصم ظهورهم داخل الحقول. وكانت الولايات المتحدة منشغلة آنذاك بحرب أهلية دمرت البلاد وحولتها إلى أطلال ومزقتها إربا إربا، وكانت الطاقة البخارية في مهدها حينئذ حينما شرعت في إحداث ثورة على مستوى العالم. غير أن فيرن تنبأ بأن باريس عام 1960 سوف تمتلك ناطحات سحاب زجاجية، وأجهزة تكييف هواء، وأجهزة تلفاز، ومساعد، وقطارات عالية السرعة، وسيارات تعمل بالبنزين، وأجهزة فاكس، إلى درجة التنبؤ بشيء أشبه بالإنترنت. وفي دقة عجيبة، صور فيرن الحياة في باريس المعاصرة.

ولم يكن هذا من قبيل ضربات الحظ العفوية؛ فبعدها بسنوات قلائل تنبأ نبوءة رائعة. ففي عام 1865، كتب رائعته (من الأرض إلى القمر) From the Earth to the Moon، وفيها تنبأ بتفاصيل مهمة يتم فيها إرسال رواد فضاء إلى القمر بعد أكثر من 100 سنة من ذلك التاريخ عام 1969. لقد تنبأ بدقة بحجم كبسولة الفضاء بنسبة تكاد تضاهي الواقع، وبموقع إطلاقها في فلوريدا بالقرب من (كيب كانافيرال) Cape Canaveral، وبعدد رواد الفضاء الذين سيقومون بالمهمة، وبطول المدة الزمنية التي ستستغرقها الرحلة، وبانعدام الوزن الذي سيعايشه رواد الفضاء، وبسقوطها في النهاية في المحيط. (الخطأ الرئيس الوحيد الذي ارتكبه أنه استعمل البارود، لا وقود الصواريخ، في الذهاب برواد الفضاء إلى القمر، غير أن الصواريخ التي تنطلق بالوقود المسال لم تخترع إلا بعدها بسبعين عاما).

ولكن، كيف تمكن جول فيرن من التنبؤ بمائة عام مستقبلا. يمثل هذه الدقة المبهرة للألأباب؟ لقد لاحظ من كتبوا سيرته الذاتية، أنه على الرغم من أن فيرن نفسه لم يكن عالما، فإنه كان يسعى دوما لمجالسة العلماء، حيث يطرهم بأسئلته حول رؤيتهم للمستقبل. وقد تكس لديه أرشيف واسع يوجز الاكتشافات العلمية العظيمة التي حدثت في زمانه. لقد فاق فيرن غيره في إدراك حقيقة أن العلم هو المحرك الذي يهز أسس الحضارة، ويدفعها نحو قرن جديد برونوع ومعجزات لا يتوقعها أحد. أما مفتاح رؤية فيرن الثاقبة فكان إيمانه الشديد بقوة العلم وقدرته على إحداث ثورة في المجتمع.

وهناك شخصية أخرى عظيمة صاحبها نبوءات في مجال التكنولوجيا، وهو ليوناردو دافنشي Leonardo da Vinci، الرسام والمفكر والحالم. ففي أواخر القرن الخامس عشر، رسم دافنشي أشكالا جميلة ودقيقة لآلات سوف تملأ السماء يوما ما؛ من رسوم لمظلات هبوط (باراشوتات)، وطائرات عمودية (هليكوبتر)، وطائرات شراعية انزلاقية hang gliders، وحتى طائرات عادية. والمثير للإعجاب أن كثيرا من ابتكاراته كان من الممكن أن تطير فعلا. (إلا أن آلاته الطائرة كانت في حاجة لمكون واحد آخر؛ محرك بقوة حصان واحد على الأقل، وهو شيء لم يتوافر إلا بعدها بأربعمائة عام).

والأمر الذي لا يقل عن هذا إدهاشا أن ليوناردو قدم رسما لمخطط كروكي لآلة جمع ميكانيكية، ربما سبقت زمانها مائة وخمسين عاما. ففي عام 1967، أعيد تحليل مخطوط كان موضوعا في غير محله، وتبين منه



أن فكرته عبارة عن آلة الجمع الحسابي المصنوعة من 13 بكرة رقمية. وإذا ما أدار الشخص عموداً محورياً، فإن التروس التي بداخلها تدور بالتتابع فتجري العمليات الحسابية. (تم تصميم هذه الآلة بالفعل عام 1968 ونجحت في عملها).

وبالإضافة لذلك، وفي الخمسينيات من القرن العشرين كُشف عن مخطوطة أخرى احتوت على رسم لرجل آلي محارب، يرتدي درعاً ألمانيا - إيطالياً، يمكنه النهوض من رقوده وأن يحرك ذراعيه وعنقه وفكه. وهو ما أصبح واقعاً فيما بعد.

لقد كان دافنشي، مثل جول فيرن، قادراً على استشراف أفكار نيرة قوية عن المستقبل من خلال استشارة حفنة من مفكري زمانه الذين لا يهتمون بأمر المستقبل، وكان واحداً من أعضاء دائرة صغيرة ممن كانوا يمثلون جبهة الابتكار. وعلاوة على ذلك، كان ليوناردو دائم التجريب والبناء وتقديم الرسوم لنماذج الأشياء، وهي سمة رئيسة لكل من يريد ترجمة أفكاره إلى واقع حي.

وعندما نعلم بالأفكار التنبؤية الهائلة التي خرج بها كل من فيرن ودافنشي فلا بد لنا ساعتها أن نطرح تساؤلاً مفاده؛ هل من الممكن التنبؤ بعالم 2100؟ إن هذا الكتاب، في محاولة منه لاقتفاء أثر فيرن وليوناردو، سوف يفحص عن كتب أعمال العلماء الرواد الذين يشيدون نماذج مبدئية لتقنيات من شأنها أن تغير وجه مستقبلنا. فهذا الكتاب ليس عملاً من أعمال الخيال العلمي، وليس نتاجاً ثانوياً لخيال شطّح بأحد مؤلفي سيناريوهات هوليوود، وإنما يقوم على أساس علمي متين من تجارب تجري

اليوم بكبريات المعامل والمختبرات في جميع أنحاء العالم. والنماذج المبدئية لكل تلك التقنيات موجودة بالفعل، ومثلما قال يوما (وليم جيبسون) William Gibson، مؤلف كتاب Neuromancer، والذي كان أول من صاغ لفظة فضاء إلكتروني Cyberspace (أو فضاء سبيراني)، (المستقبل هاهنا بالفعل، وكل ما هنالك أنه غير موزع بالتساوي). إن التنبؤ بعالم 2100 مهمة مرعبة، إذ إننا نعيش حقبة ثورة علمية نافذة التأثير، يتسارع فيها دائما إيقاع عجلة الاكتشافات. وقد تراكم من المعرفة العلمية في العقود القليلة الماضية فقط أكثر مما تراكم خلال التاريخ الإنساني بأسره. وبحلول عام 2100، فسوف تتضاعف هذه المعرفة من جديد عدة مرات.

غير أنه ربما كان أفضل سبيل لكي نضع أيدينا على مدى ضخامة مهمة التنبؤ بمائة عام قادمة؛ أن نتذكر العالم عام 1900 وأن نتذكر كيف كانت حياة أجدادنا في ذلك التاريخ.

إن الصحفي مارك سوليفان Mark Sullivan يطلب منا تخيل شخص ما يطالع إحدى صحف عام 1900:

ففي صحيفته التي صدرت يوم 1 يناير 1900، لم يجد المواطن الأمريكي أي كلمة مثل راديو، فقد كان ما يزال أمام المذيع عشرون عاما أخرى كي يظهر إلى الوجود؛ ولا كلمة (سينما)، فقد كان هذا مما سيحدث بصفة أساسية مستقبلا؛ ولا حتى كلمة (سائق سيارة)، فلم تبرح السيارة طور الظهور آنذاك وكانت تسمى (عربة بلا جواد...)؛ ولم تكن هناك كلمة طيار.. ولم يسمع المزارعون بعد عن الجرارات؛ ولا عن رجال بنوك

منظومة الاحتياطي الفيدرالي. ولم يسمع التجار عن سلاسل المتاجر ولا عن مصطلح (اخدم نفسك)؛ ولم يسمع البحارة كذلك عن المحركات التي تحرق الزيت.. وكان من الممكن آنذاك مشاهدة العربات التي تجرها الثيران وهي تسير على الطرق الريفية.. وكانت الجياد والبغال حينئذ تؤدي عمل الشاحنات في جميع الأنحاء.. وكان الحداد الجالس تحت شجرة القسطل وارفة الظلال حقيقة واقعة.

وحتى نتفهم مدى صعوبة التنبؤ بالأعوام المئة المقبلة، ينبغي علينا أن نقدر مدى صعوبة تنبؤ من عاشوا عام 1900. بما سيكون عليه العالم عام 2000. ففي عام 1893، وفي واحد من وقائع المعرض الكولومبي العالمي بشيكاغو، طلب من أربع وسبعين شخصية شهيرة التنبؤ بشكل الحياة خلال الأعوام المئة المقبلة. وكانت هناك مشكلة رئيسة أمام هؤلاء، وهي أنهم بخسوا دائما من قدر السرعة التي تسير بها خطى التقدم العلمي. ومن أمثلة ذلك، أن كثيرين منهم تنبؤوا على نحو صحيح بأننا يوما ما سوف تكون لدينا سفن جوية تجارية تعبر المحيط الأطلنطي، لكنهم ظنوا أنها سوف تكون عبارة عن مناطيد. وقال السيناتور (جون جيه. إنجالز) John J. Ingalls: (إنه سوف يكون من الشائع لأي مواطن أن ينادي على منطاده القابل للتوجيه مثلما يستدعي الآن عربته التي تجرها الدواب أو خادما في فندق). وكلهم غفلوا أيضا عن مسألة مجيء السيارة، وذكر (رئيس هيئة الخدمة البريدية) Postmaster General جون واناميكّر John Wanamaker أن البريد الأمريكي سوف يوزع باستخدام العربة التي تجرها الخيول أو فوق الجياد، حتى بعد 100 عام.

بل إن بخس قدر العلم والابتكار امتد إلى مكتب براءات الاختراع. ففي عام 1899، قال تشارلز إتش. دويل Charles H. Duell، مفوض مكتب براءات الاختراع الأمريكي U.S. Office of Patents: (إن كل ما يمكن ابتكاره قد ابتكر بالفعل).

وفي بعض الأحيان كان الخبراء في مجالهم يبخسون قدر ما كان يحدث أمامهم مباشرة. ففي عام 1927، علق هاري إم. وارنر Harry M. Warner، وهو أحد مؤسسي شركة وارنر برازرز Warner Brothers، إبان حقبة السينما الصامتة بقوله: (من ذا الذي يريد بحق الجحيم أن يستمع إلى الممثلين وهم يتكلمون؟).

كما قال توماس واطسون Thomas Watson، رئيس مجلس إدارة آي بي إم IBM، عام 1943: (أعتقد أنه ربما ستكون هناك سوق عالمية لخمسة أجهزة حاسوب).

هذا البخس الكبير من قدر الاكتشافات العلمية امتد ليصل إلى صحيفة نيويورك تايمز New York Times الموقرة (ففي عام 1903، أعلنت الصحيفة أن الآلات الطائرة مضيعة للوقت، وذلك قبل أسبوع واحد فقط من نجاح (الأخوان رايت) Wright brothers في التحليق بطائرتهم في كيتي هوك، نورث كارولينا. وفي عام 1920، انتقدت (نيويورك تايمز) عالم الصواريخ روبرت جودارد Robert Goddard، معلنة أن عمله ليس سوى هراء؛ لأن الصواريخ لا يمكنها الحركة في الفراغ. وبعدها بتسعة وأربعين عاما، عندما هبط رواد فضاء (أبولو 2) على سطح القمر، نشرت الصحيفة، إحقاقا للحق، تراجعاً عن رأيها هذا فقالت: (لقد صار من

المؤكد الآن أن الصاروخ في استطاعته أن يؤدي وظيفته في الفراغ. ونيويورك تايمز تعتذر عن هذا الخطأ).

إن الدرس الذي نتعلمه هنا أنه لجد خطير أن نراهن ضد المستقبل. ولقد كانت التنبؤات بالمستقبل دائماً، مع وجود استثناءات قليلة، ما تبخس قدر إيقاع التقدم التكنولوجي. والتاريخ - كما حكى لنا مراراً وتكراراً - يكتبه المتفائلون لا المتشائمون. وعلى حد قول دوايت أيزنهاور Dwight Eisenhower: (لم يكسب التشاؤم حرباً قط).

يمكننا هنا أن نشاهد كيف بخس كُتّاب الخيال العلمي قدر إيقاع الاكتشافات العلمية، فعند مشاهدة إعادة حلقات المسلسل التلفزيوني القديم الذي يعود إلى الستينيات (رحلة بين النجوم) Star Trek، تلاحظ أن كثيراً من هذه التقنيات التي تنتمي للقرن الثالث والعشرين موجودة الآن بالفعل. ففي تلك الحقبة، دُهِش المشاهدون عندما شاهدوا هواتف جواله، وحواسب محمولة، وآلات يمكنها التحدث، وآلات ناسخة يمكنها أن تكتب إملاء، وهي كلها تقنيات موجودة الآن بالفعل. وسرعان ما ستظهر لدينا نسخات من المترجم العالمي، الذي يمكنه الترجمة سريعاً بين اللغات أثناء نطق كلماتها، وكذلك (الترايكورد) Tricorders، الذي يمكنه تشخيص الأمراض عن بعد. (وباستثناء محركات التوجيه الملتوي والناقلات، فإن كثيراً من هذا العلم المنتمي للقرن الثالث والعشرين قد ظهر بالفعل).

والسؤال الآن، مع علمنا بالأخطاء الواضحة التي ارتكبها الناس عندما بخسوا قدر المستقبل، كيف يمكننا البدء في تقديم أساس علمي أكثر صلابة لتنبؤاتنا؟

## تمهيد

## فهم قانون الطبيعة

لم نعد نحيا اليوم في عصور العلم المظلمة، عندما كان يظن أن ومضات البرق وانتشار الطاعون من عمل الآلهة. إن لدينا ميزة عظيمة لم تكن موجودة لدى فيرن أو دافنشي؛ إنها الفهم الواضح لقوانين الطبيعة.

فالتنبؤات سوف تكون معيبة دوماً، لكن القبض بقوة على القوى الرئيسة الأربع في الطبيعة التي تحرك الكون بأسره سيكون من شأنه جعل هذه التنبؤات ذات مرجعية قدر الاستطاعة، فقد كانت تغير وجه التاريخ الإنساني في كل مرة تخضع إحداها للفهم والوصف.

إن القوة الأولى التي يجب شرحها هنا هي قوة الجاذبية، فقد أعطانا إسحق نيوتن Isaac Newton قوانين الميكانيكا التي يمكنها تفسير حركة الأشياء فهي تسير من خلال قوى، لا بفعل الأرواح الغامضة أو قوى ما وراء الطبيعة. وقد ساعد هذا على تمهيد الطريق أمام الثورة الصناعية ودخول عصر الطاقة البخارية، لا سيما القاطرة البخارية.

والقوة الثانية التي يتعين فهمها هي القوة الكهرومغناطيسية، التي تنير مدننا وتشغل أجهزتنا. وعندما ساعدنا توماس إديسون Thomas Edison، ومايكل فاراداي Michael Faraday، وجيمس كليرك ماكسويل James Clerk Maxwell، وغيرهم على تفسير الكهربائية والمغناطيسية؛ أطلقوا بذلك العنان لثورة إلكترونية صنعت الكثير من الأعاجيب العلمية. ونحن نشعر بهذا كلما انقطع التيار الكهربائي، إذ يعود مجتمعنا فجأة إلى الوراء

مائة عام.

أما القوتان الثالثة والرابعة اللتان يتعين فهمهما فهما قوتان نوويتان؛ القوى الواهنة والقوى العظيمة. وعندما كتب أينشتاين معادلته  $E=mc^2$ ، وعندما تم شطر الذرة في الثلاثينيات، بدأ العلماء لأول مرة يفهمون القوى التي تضيء السماء، وهو ما كشف سر النجوم. فهذا الأمر لم يطلق العنان لقوى الأسلحة الذرية الرهيبة فحسب، وإنما احتفظ كذلك بوعد مؤداه أنه في يوم من الأيام سوف نكون قادرين على استغلال هذه القوى فوق كوكب الأرض.

واليوم، صرنا ملمين بصورة طيبة بتلك القوى الأربع؛ فالقوة الأولى، وهي الجاذبية، توصف الآن من خلال نظرية النسبية العامة لأينشتاين. أما القوى الثلاث الأخرى فتصفها نظرية الكم Quantum Theory، التي تتيح لنا فك شفرة أسرار عالم الذرة وما داخلها.

ونظرية الكم بدورها، هي التي قدمت لنا الترانزستور، والليزر، والثورة الرقمية التي تعد القوى الدافعة لمجتمعنا المعاصر. وبالمثل، تمكن العلماء من استخدام نظرية الكم في إمطة اللثام عن سر جزيء الحمض النووي DNA (دي إن أيه، وهي الحروف المختصرة لـ: ديزوكسي ريبونوكليك أسيد). إن السرعة الخارقة للثورة البيوتكنولوجية تعد نتاجا مباشرا لتكنولوجيا الحاسوب، إذ إن تحديد تسلسل دي إن أيه كله يتم بواسطة الآلات والروبوتات والحواسب.

ونتيجة لذلك، صرنا أكثر قدرة على رؤية الاتجاه الذي سيسير فيه العلم والتكنولوجيا خلال القرن المقبل. وسوف تكون هناك دائما مفاجآت



مبتكرة غير متوقعة على الإطلاق تجعلنا مشدوهين عاجزين عن النطق، غير أن أساس علوم الفيزياء الحديثة والكيمياء والأحياء قد رسخ إلى حد بعيد، ولا نتوقع حدوث أي مراجعة مؤثرة لتلك المعارف الأساسية، وذلك على الأقل خلال المستقبل المنظور. ونتيجة لذلك، فإن التنبؤات التي ذكرناها في هذا الكتاب ليست نتاج تنظير جامح شطح به الخيال، وإنما هي تقديرات مستنيرة لموعد بلوغ التقنيات المبدئية التي ظهرت اليوم مرحلة النضوج النهائي.

الخلاصة، أن هناك عدة أسباب تجعلنا نعتقد أن باستطاعتنا رؤية الخطوط العريضة لعالم 2100:

1. يقوم هذا الكتاب على لقاءات حوارية استضافت فيها ما يربو على 300 من كبار العلماء، وهم أولئك الذين يقفون في طليعة القائمين على الاكتشافات العلمية.

2. إن كل تطور علمي ذكر في هذا الكتاب يتفق وقوانين الفيزياء المعروفة لنا.

3. إن القوى الأربع والقوانين الأساسية التي تحكم الطبيعة معلومة إلى حد بعيد، ولا نتوقع حدوث أي تغييرات جديدة مؤثرة في تلك القوانين.

4. إن النماذج المبدئية لجميع التقنيات المذكورة في هذا الكتاب ظهرت إلى الوجود بالفعل.

5. قام بتأليف هذا الكتاب شخص متمرس بالعلم، فهو في طليعة من يطلعون على التكنولوجيا التي يتم التوصل إليها من خلال أرقى الأبحاث العلمية.

لقد ظللنا لقلب لا تعد ولا تحصى مجرد مشاهدين سلبين نشاهد الطبيعة وهي ترقص. وكنا نكتفي بالحملقة في تعجب وخوف إلى المذنبات، وضربات الصواعق، وثورات البراكين، وأوبئة الطاعون، فنفترض أنها تتجاوز مدار كنا. لقد كانت قوى الطبيعة، بالنسبة للقدماء، تمثل لغزا أبديا يجب أن يخشوه وأن يعبدوه، ولهذا صنعوا آلهة الأساطير كي تشكل منطقا مفهوما للعالم من حولهم. وكان معتقدهم آنذاك أن تلك الآلهة سوف تشملهم برحمتهم ومن ثم يلبون لهم أعز أمانهم عن طريق صلاتهم لتلك الآلهة.

واليوم، صرنا مصممين لرقصات الطبيعة، وقادرين على التلاعب بقوانين الطبيعة هنا وهناك. لكننا بحلول عام 2100، سنصنع نقلة حيث سنتحول إلى أسياد للطبيعة.

## 2100: عندما نصير آلهة الأساطير

إذا ما ذكرنا اليوم أنه قد أمكننا بصورة أو بأخرى أن نزور أسلافنا القدامى وأن نعرض عليهم باقة من إنجازات العلم الحديث والتكنولوجيا، لاعتبرونا من السحرة. فبسحر العلم، سيمكننا أن نعرض عليهم الطائرات النفاثة التي تزار وسط السحاب، والصواريخ التي يمكنها استكشاف القمر والكواكب، ومساحات التصوير بالرنين المغناطيسي التي يمكنها التحديق داخل الجسم الحي، وكذا الهواتف الخلوية التي تمكننا من الاتصال بأي شخص على ظهر الكوكب. وإذا ما عرضنا عليهم الحواسيب المحمولة التي يمكنها إرسال صور متحركة ورسائل فورية عابرة للقارات، لاعتبروا

ذلك من قبيل السحر والشعوذة.

غير أن هذه ليست سوى البداية، فالعلم ليس شيئاً ساكناً. إن العلم ليتفجر تفجراً أسيماً من حولنا جميعاً، وإذا ما حسبت عدد المقالات العلمية التي تُنشر، فسوف تكتشف أن حجم العلم البحث يتضاعف كل عقد أو نحوه. ويعمل الابتكار والاكتشافات على تغيير سائر الخريطة الاقتصادية والسياسية والاجتماعية، فتقلب جميع المعتقدات القديمة والأحكام التي عفى عليها الزمن رأساً على عقب.

## والآن كن جريئاً وتخيل العالم سنة 2100

في عام 2100، سيصبح قدرنا أن نصير مثل تلك الآلهة التي عبدناها يوماً ما وكنا نخشاها، غير أن أدواتنا التي سنستخدمها لن تكون العصي والأكاسير السحرية وإنما علم الحاسبات، والنانو تكنولوجيا، والذكاء الاصطناعي، والتكنولوجيا الحيوية، والأهم من هذا كله، نظرية الكم، وهي الأساس الذي قامت عليه كل تلك التقنيات السابق ذكرها.

وعندما يحل عام 2100 سوف نكون قادرين، مثلما فعل آلهة الأساطير، على التلاعب بالأشياء بقوة أذهاننا. فالحواسب التي سوف تقرأ أفكارنا في صمت، سوف تكون قادرة على تلبية أمانينا. وسوف نكون قادرين على تحريك الأشياء عن طريق التفكير وحده، وهي قدرة تحريكية عن بعد كانت في العادة قاصرة على الآلهة وحدها. وبقدرة التكنولوجيا الحيوية، سوف نخلق أجساداً مثالية وسنطيل أعمارنا. وسنكون قادرين كذلك على خلق أشكال من الحياة لم توجد من قبل على ظهر الأرض. وبقوة

النانو تكنولوجي، سوف نصبح قادرين على أخذ شيء ما وتحويله إلى شيء آخر مختلف، وعلى أن نخلق شيئاً من العدم تقريباً. ولن نركب مركبات نارية وإنما مركبات ملساء تخلق من تلقاء نفسها دون وقود، وتسبح دون جهد في الجو. وباستخدام محركاتنا، سوف نصبح قادرين على استغلال طاقة النجوم غير المحدودة. سوف نصبح أيضاً على شفا إرسال سفن فضائية لاستكشاف النجوم القريبة منا.

وعلى الرغم من أن تلك القدرات شبه الإلهية تبدو متقدمة بصورة يصعب تخيلها، فإن بذور كل تلك التقنيات تتم زراعتها ونحن نتحدث الآن. إنه العلم الحديث، لا الترانيم أو التعاويذ السحرية، هو ما سيمنحنا تلك القدرة.

أنا فيزيائي متخصص في نظرية الكم. وفي كل يوم، أصطدم بمعادلات تتحكم في الجسيمات دون الذرية التي خلق منها الكون. إن العالم الذي أعيش فيه عبارة عن كون من فضاء واسع ذي أحد عشر بعداً، وثقوب سوداء وبوابات تفضي إلى أكوان متعددة. غير أن معادلات نظرية الكم، المستخدمة في وصف النجوم المتفجرة والانفجار العظيم، يمكن كذلك استخدامها في حل شفرة خطوط المستقبل العريضة.

ولكن السؤال الآن؛ إلى أين تمضي بنا كل تلك التغيرات التكنولوجية؟ وأين تقع المحطة النهائية في هذه الرحلة الطويلة نحو العلم والتكنولوجيا؟ إن ذروة نتاج كل تلك الثورات تتمثل في تشكيل حضارة كوكبية، يسميها علماء الفيزياء حضارة من النوع الأول. وربما كان هذا العبور أعظم نقلة حدثت في التاريخ، وهي تمثل علامة فارقة تميزها تمييزاً واضحاً

عن جميع الحضارات التي قامت في الماضي. إن كل عنوان رئيس يهيمن على نشرات الأخبار إنما هو انعكاس، بصورة أو بأخرى، لانقباضات رحم تولد منه هذه الحضارة الكوكبية. إن التجارة والسوق والثقافة واللغة والترفيه وأنشطته، وحتى الحروب جميعها ستقع بها ثورات عند بزوغ تلك الحضارة الكوكبية. وبحساب ناتج طاقة الكوكب، يمكننا وفق تقدير اتنا القول بأننا سنبلغ مرتبة النوع الأول في غضون 100 عام. وما لم ننجذب مفتونين إلى قوى الفوضى والجنون، فسوف يكون الانتقال إلى الحضارة الكوكبية أمراً حتمياً، وهذه هي المحصلة النهائية للقوى الرهيبة التي لا يمكن للتاريخ والتكنولوجيا الوقوف أمامها، وهي قوى تخرج عن نطاق سيطرة أي إنسان.

### لماذا لا تتحقق النبوءات أحياناً

إن المدهش هنا أن بعض النبوءات التي ظهرت عن عصر المعلومات لم تتحقق. ومثال ذلك، أن كثيراً من منظري المستقبل تنبؤوا (بالمكتب الخالي من الورق)، بمعنى، أن الحاسوب يمكنه أن يجعل من الورق شيئاً لا لزوم له. وبمنظرة واحدة على أي مكتب الآن يتبين لنا أن حجم الأوراق بالفعل صار أكثر من أي وقت مضى.

وكذلك حلم البعض (بمدينة تخلو شوارعها من البشر). لقد تنبأ علماء المستقبل بأن تنظيم المؤتمرات عن بعد عبر شبكة الإنترنت سوف يجعل اجتماعات رجال الأعمال التي يلتقون فيها وجهاً لوجه غير ضرورية، وبهذا تتلاشى الحاجة للانتقال من مكان لآخر. وفي حقيقة الأمر، أن

المدن ذاتها ستخلو بشكل كبير، فتصير مدن أشباح، إذ سيعمل الناس من منازلهم لا من مكاتبهم.

وعلى النهج ذاته، كان من المفترض أن نشهد نهضة (للسياح عبر الفضاء الإلكتروني)، أولئك الذين يقضون يومهم كاملاً راقيدين على أرائكهم يلتهمون أكياس الشيسسي، ويتجولون في جميع أنحاء العالم ويشاهدون المعالم السياحية عبر شبكة الإنترنت على شاشات حواسيبهم. وكان من المفترض أن نرى أيضاً (المتسوقين عبر شبكة الإنترنت)، ممن يدعون فأرات حواسيبهم تقوم بكل العمل، ومن ثم تفلس مولات التسوق التجارية. وكذلك (طلبة الإنترنت) الذين يحضرون جميع حصصهم الدراسية على الشبكة وهم يلعبون سرا ألعاب الفيديو، وبذلك تغلق الجامعات أبوابها لقلّة اهتمام الناس بها.

أو لنزّ مثلاً مصير (الهاتف الناقل لصورة المتحدث). فأتساءل المعرض العالمي عام 1964، أنفقت مؤسسة AT&T حوالي 100 مليون دولار على إتقان صنع شاشة تلفاز تتصل بمنظومة الهاتف، حيث يمكنك مشاهدة الشخص الذي تحدثه هاتفياً، مثلما يشاهدك. ولم تفلح الفكرة مطلقاً، ولم تبع AT&T منها سوى 100 هاتف تقريباً، مما جعل تكلفة الوحدة منها حوالي مليون دولار نقداً. وكان هذا بمثابة فشل باهظ التكلفة للغاية.

وأخيراً، كان من المعتقد أن نهاية وسائل الإعلام والترفيه التقليدية باتت وشيكة. وزعم بعض المتنبئين بالمستقبل أن الإنترنت هي الطاغوت الذي سيبتلع المسرح الحي والسينما والإذاعة والتلفاز، وأن جميعها سرعان ما ستؤول إلى المتاحف. وفي حقيقة الأمر، أن العكس هو ما حدث. لقد

صارت الاختناقات المرورية أسوأ من أي وقت مضى؛ وصارت سمة دائمة للحياة العصرية. ويتوافد الناس فرادى وجماعات إلى المواقع السياحية في البلاد الأجنبية بأعداد قياسية، مما جعل السياحة واحدة من أسرع الأنشطة نمواً في العالم. أما المتسوقون فهم يصنعون طوفاناً داخل المتاجر، حتى في أوقات الأزمة الاقتصادية. وبدلاً من انتشار قاعات الدرس على النت، ما زالت الجامعات تسجل أرقاماً قياسية من أعداد الطلبة المتقدمين للدراسة. ولا ريب أن أعداد من قرروا العمل من منازلهم أو إقامة مؤتمرات عن بعد مع زملائهم في العمل في ازدياد، غير أن المدن لم تخلُ من السكان في أي وقت من الأوقات وإنما اكتظت بهم وصارت عملاقة جداً. واليوم، غداً من السهل عليك إجراء محادثات عن طريق الفيديو على شبكة الإنترنت، لكن معظم الناس لا يجدون متعة في أن يظهروا على الشاشة، ويفضلون اللقاء وجهاً لوجه. وبطبيعة الحال، غيّرت الإنترنت من خريطة الإعلام بأكملها، إذ حاول عمالقة الإعلام بكل الحيل كسب عائد من شبكة الإنترنت. غير أن هذا لم يقترب حتى - مجرد اقتراب - من اكتساح التلفاز والراديو والمسرح الحي، فما تزال أضواء برودواي تتلألأ مثلما كانت دوماً.

## قاعدة رجل الكهف

لماذا عجزت تلك التنبؤات عن التحول إلى حقيقة مادية ملموسة؟ أرى أن الناس بصورة عامة رفضت هذه الابتكارات المتقدمة بسبب ما أسميه أنا رجل (أو امرأة) الكهف. إن الشواهد الوراثية والحفرية تشير إلى أن



الإنسان الحديث، الذي كان يشبهنا تماما، ظهر في أفريقيا منذ أكثر من 100 ألف عام مضت، غير أننا لا نجد أي دليل على أن عقولنا وشخصياتنا قد تغيرت كثيرا منذ ذلك الحين. وإذا أخذت شخصا ما ينتمي لتلك الحقبة، فسوف تجده مطابقا لنا تشريحيًا؛ وإذا ما غسلته وحلقت له ذقنه، ثم ألبسته حُلّة من ثلاث قطع، ووضعته في بورصة وول ستريت، فستجده غير مميز بدنياً أو مادياً عن أي شخص آخر غيره. فأمنياتنا وأحلامنا وشخصياتنا، وعلى الأرجح رغباتنا، لم تتغير إذن كثيرا طوال 100 ألف عام، ولعلنا ما نزال نفكر بطريقة أجدادنا من ساكني الكهوف نفسها.

والمعنى الذي أود أن أصل إليه أنه كلما كان هناك تضارب بين التكنولوجيا الحديثة ورغبات أجدادنا البدائيين، فإن رغباتنا البدائية هي التي تفوز في كل مرة، هذه هي قاعدة رجل الكهف. ومن أمثلة ذلك أن إنسان الكهوف كان دائما ما يطالب (بإثبات القتل)، فلم يكن يكفي أبدا أن تتفاخر بأنك قتلت حيوانا ضخما، لكن إمساكك بحيوان من لحم ودم بين يديك كان دوما محبذا على رواية تحكي فيها عن ذلك الوحش الذي صرعه. وبالمثل، فنحن نريد دائما (نسخة مطبوعة) كلما تعاملنا مع الملفات، فنحن بغريزتنا لا نثق في الإلكترونيات السابحة داخل شاشات حاسباتنا، ولهذا نطبع دائما رسائلنا الإلكترونية وتقاريرنا حتى ولو لم يكن هذا ضروريا، ولذلك لم تتحقق أبدا فكرة المكتب الخالي من الأوراق.

وبالمثل، لقد كان أجدادنا يجذون دوما إجراء اللقاءات وجها لوجه. وقد ساعدنا هذا على الالتحام بالآخرين وعلى قراءة مشاعرهم المختبئة في صدورهم، ولهذا لم تفلح أبدا فكرة المدينة الخالية من البشر. ومن أمثلة

ذلك المدير الذي يحرص على تحديد مستوى موظفيه، فمن الصعب أن يقوم بذلك على شبكة الإنترنت، لكن المدير الذي يلتقيك وجها لوجه يمكنه قراءة لغة الجسد كي يحصل على معلومات قيمة عما يدور في عقلك الباطن. فعن طريق مشاهدة الناس عن كثب، نشعر برابطة عامة ونقرأ لغة أجسادهم الخفية لنكتشف الخواطر التي تتصارع داخل رؤوسهم. وهذا لأن الذين عاشوا قبل أن تتطور لدينا خاصية الكلام بعدة آلاف من السنين، استخدموا لغة الجسد بصورة شبه كاملة لنقل خواطرهم ومشاعرهم إلى الآخرين.

وهذا هو السبب في أن السياحة عن طريق الإنترنت لم تفلح أبداً، ف رؤية صورة لتاج محل شيء، والتفاخر بأنك شاهدته فعلا على الطبيعة شيء آخر. وبالمثل، فإن الاستماع إلى إسطوانة مدمجة (سي دي) لعازفك المفضل يختلف تماما عن شعورك بالصخب الذي يدوي بغتة لدى ظهور الموسيقي على خشبة المسرح في حفل موسيقي حي، وقد أحاط به معجبهه وما يصاحب ذلك من مرج وضوضاء. وهذا يعني أنه حتى على الرغم من قدرتنا على إنزال صور واقعية للدراما المحببة إلينا أو لشخصية شهيرة نهواها، فإنه لا يوجد شيء مثل مشاهدة الدراما على خشبة المسرح مباشرة أو مشاهدة نجمك الم محبوب وهو يؤدي دوره أمامك مباشرة. إن الجمهور ليقف بالساعات الطوال في طوابير للحصول على صور نجمه التي تحمل توقيعه أو تذاكر حفله، على الرغم أن في استطاعتهم تحميل صورته من خلال الإنترنت مجانا.

وهذا ما يفسر لنا لماذا فشل التنبؤ باكتساح الإنترنت للتلفزيون والراديو.

فعندما ظهرت السينما والراديو لأول مرة، توقع الناس وفاة المسرح الحي. ثم جاء التلفزيون، وتوقع الناس حينئذ اختفاء السينما والإذاعة، والآن نعيش خليطاً تجتمع فيه كل تلك الوسائل الإعلامية. والدرس المستفاد هنا أن الوسيلة الإعلامية الواحدة لا يمكنها مطلقاً القضاء على الوسيلة السابقة وإنما تتعايشان سوياً. إن المزيج والعلاقة بين الوسائل هو الذي يتغير باستمرار، وإن أي شخص يمكنه التنبؤ بدقة بالخليط الذي سيجمع في المستقبل بين تلك الوسائل؛ سيصبح شديد الثراء.

والسبب في ذلك أن أجدادنا القدامى كانوا يرغبون على الدوام في مشاهدة الشيء رأي العين وفي عدم الاعتماد على القيل والقال، لقد كان من الأمور الحاسمة لبقاء نوعنا في الغابة الاعتماد على دليل مادي حي لا على الشائعات. وحتى بعد قرن من الآن، فسوف يظل المسرح الحي باقياً وسنظل نطارد المشاهير، فهذا ميراث قديم من ماضينا السحيق.

أضف إلى ذلك، أننا ننحدر من سلالات من الوحوش التي تصطاد الفرائس، ولهذا فنحن نعشق مشاهدة الآخرين بل نجلس بالساعات أمام شاشة التلفاز لنشاهد دون كلل أو ملل السلوكيات الغريبة لإخواننا من البشر، غير أننا نصاب بالعصبية على الفور عندما نشعر بأن الآخرين يشاهدوننا. والحقيقة أن العلماء قاموا بحساب المدة التي نصاب بعدها بالضيق إذا حملق شخص غريب فينا فوجدوها أربع ثوان. وبعد حوالي عشر ثوانٍ يصل بنا الحال إلى الشعور بالغضب والعداء لكون شخص ما يحدق فينا. وهذا هو السبب في أن الهاتف المرئي (أو هاتف الصورة picture phone) الأصلي حقق فشلاً ذريعاً. وكذلك الإنترنت، فمن منا يريد أن يضطر لتمشيط شعره

قبل الدخول على شبكة الإنترنت؟ (واليوم، وبعد عقود من التحسين البطيء والمؤلم، بدأت مؤتمرات الفيديو أخيراً تلحق بالركب).

واليوم، أصبح من الممكن الحصول على دورات تعليمية من خلال الإنترنت، لكن الجامعات ما تزال تكتظ بالطلبة. إن الالتقاء بالأساتذة وجهاً لوجه، حيث يمكن لهؤلاء الأساتذة تقديم رعاية فردية لكل طالب أو الإجابة عن أي استفسارات شخصية، ما زالت طريقة مفضلة على الدراسات عبر الإنترنت. وما برحت الدرجة الجامعية تتمتع بوزن أكبر من دبلوم عبر الإنترنت عند التقدم لوظيفة.

هناك إذن منافسة مستمرة بين التقنية الرفيعة والاتصال عن قرب؛ المنافسة بين الجلوس على مقعد لمشاهدة التلفاز والوصول إلى الأشياء من حولنا وملاستها. ففي هذه المنافسة، سوف نرغب في كليهما. ولهذا ما نزال نذهب للمسرح الحي، وحفلات الروك، وما يزال لدينا الورق والسياحة حتى في عصر الإنترنت والفضاء الإلكتروني والواقع الافتراضي. لكننا إذا خیرنا بين صورة مجانية لطربنا الشهير المفضل وتذاكر حقيقية لحضور حفله، فسنختار التذاكر دون تردد.

هذه إذن قاعدة رجل الكهف؛ إننا نفضل لو امتلکنا كليهما، لكننا لو خیرنا بينهما فسوف نختار الاتصال عن قرب، مثل أسلافنا من ساكني الكهوف.

لكن هناك أمراً ملازماً دوماً لهذه القاعدة، فعندما ابتكر العلماء الإنترنت أول الأمر في الستينيات، كان من المعتقد على نطاق واسع أنها سوف تتطور لتصبح منتدى للتعليم والعلم والتقدم. وبدلاً من ذلك، أصيب كثير

من الناس بالفرع لندهورها السريع لتصير أشبه بالغرب المتوحش الذي لا تحده حواجز على النحو الذي هي عليه الآن. والحقيقة أن هذا الأمر كان متوقعا؛ لأن من الأشياء الملازمة لقاعدة رجل الكهف أنك إذا أردت أن تتنبأ بالتفاعلات الاجتماعية للبشر مستقبلا، فكل ما عليك ببساطة هو أن تتخيل حجم تفاعلاتنا الاجتماعية منذ مائة ألف عام مضت ثم تضربها في مليون. ومعنى هذا أنه ستكون هناك قيمة كبيرة للشائعات والقبل والقال، وشبكات التواصل الاجتماعي، والترفيه. فالشائعات كانت أمرا أساسيا في أي قبيلة من أجل إيصال المعلومات سريعا، لا سيما تلك المعلومات عن الزعماء والنماذج التي يحتذى بها. أما أولئك الذين كانوا يشذون عن القاعدة فلم يطل بقاؤهم غالبا على وجه الأرض لكي ينقلوا جيناتهم لأجيال تالية. واليوم، يمكننا مشاهدة ذلك عند منفذ دفع الحساب (الكاشير) في السوبر ماركت، حيث ركن مجالات الشائعات الممتد من الحائط للحائط، كما تجده كذلك في ظهور ثقافة يوجهها المشاهير. والفارق الوحيد اليوم في حجم هذه الشائعات القبلية الذي تتضاعف بصورة هائلة بسبب وسائل الإعلام، فقد صار في استطاعتها الآن أن تلف الكرة الأرضية كلها عدة مرات في جزء من الثانية.

إن التكاثر المفاجئ لمواقع الشبكات الاجتماعية على الإنترنت، التي حولت رجال أعمال شباب ذوي وجوه طفولية، إلى مليارديرات بين عشية أو ضحاها، كان مفاجأة للعديد من المحللين، لكنه في الوقت ذاته يعد مثالا على هذه القاعدة. ففي تاريخنا التطوري، كان في استطاعة هؤلاء الذين يحتفظون بشبكات اجتماعية ضخمة الاعتماد عليها

كموارد، والحصول منها على النصيحة، والعون الذي يعد حيويًا لبقائهم. وفي النهاية، سوف يواصل الترفيه نموه الانفجاري. لكننا في بعض الأحيان لا نود الاعتراف بذلك، غير أن جزءًا كبيرًا من ثقافتنا مبني على الترفيه. فبعد انتهاء رحلة الصيد، كان أسلافنا القدامى يسترخون ويبدؤون في الترفيه عن أنفسهم. وقد كان هذا أمرًا مهمًا، لا من أجل الترابط فحسب، وإنما كذلك من أجل أن يؤكد كل امرئ على موقعه داخل القبيلة. فليس من قبيل المصادفة إذن أن الرقص والغناء، وهما جزءان أساسيان من النشاط الترفيهي، حيويان أيضًا في المملكة الحيوانية للتعبير للجنس الآخر عن اللياقة البدنية. فعندما تشدو ذكور الطير بألحان جميلة ومركبة أو تنخرط في طقوس متوافقة عجيبة، فإن هذا يهدف بصفة أساسية إلى أن تظهر للجنس الآخر مدى تمتعها بالصحة واللياقة البدنية والخلو من الطفيليات، وكذلك الإعلان عن أن جيناتها تستحق أن تنتقل للأجيال التالية.

ولم يكن الإبداع الفني بهدف المتعة وحسب وإنما لعب كذلك دورًا مهمًا في تطور عقولنا، التي تتعامل مع معظم المعلومات بأسلوب رمزي. فنحن إذن ما لم نغير بطريقة وراثية من شخصيتنا الأساسية، فمن الممكن أن نتوقع تعاظم قوة الترفيه وشائعات التابلويد (الصحف الصفراء) والشبكات الاجتماعية في المستقبل، لا أن تقل.

## العلم سلاح ذو حدين

شاهدت ذات مرة فيلمًا غير من نظرتي للمستقبل إلى الأبد، كان اسمه (الكوكب المحرم) Forbidden Planet، وكان مأخوذًا عن مسرحية

(العاصفة) The Tempest لشكسبير. وفي الفيلم يلتقي رواد فضاء بحضارة قديمة، كانت تسبقنا أيام مجدها في تقدمها بملايين السنين. لقد بلغوا هدفهم النهائي من وراء تقنياتهم؛ القدرة المطلقة دون الحاجة إلى أدوات، أي القدرة على القيام بأي شيء تقريبا عن طريق عقولهم. كانت خواطرم تصل إلى محطات طاقة حرارية نووية عملاقة، مدفونة في أعماق كوكبهم، فتحول كل رغباتهم إلى واقع. أو بعبارة أخرى، كانوا يملكون قدرات الآلهة.

ونحن كذلك سوف نمتلك قدرة مشابهة، لكننا لن نضطر للانتظار ملايين السنين حتى يتم ذلك. إننا لن نضطر إلا للانتظار مدة قرن من الزمان، وبممكننا مشاهدة بذور هذا المستقبل حتى في تكنولوجيا اليوم. غير أن الفيلم كان بمثابة قصة تربوية أيضا، إذ إن هذه القدرة الإلهية في نهاية الأمر هي التي قهرت تلك الحضارة.

وبطبيعة الحال، العلم سلاح ذو حدين؛ إنه يصنع الكثير من المشكلات بقدر ما يحلها، لكن هذا دائما ما يكون عند مستوى أعلى. فهناك في عالم اليوم اتجاهان متنافسان؛ أحدهما خلق حضارة كوكبية علمية مزدهرة، لكن الآخر يمجّد الفوضى والجهل اللذين يمكنهما تمزيق نسيج مجتمعنا. ونحن ما زلنا نعتنق المشاعر الطائفية الأصولية غير العقلانية نفسها، التي كانت لدى أجدادنا، لكن الفارق الآن أننا نملك أسلحة نووية وكيميائية وبيولوجية.

في المستقبل، سوف نصنع نقلة وتحولا من كوننا متفرجين سلبيين على رقص الطبيعة؛ إلى مصممين لرقصات الطبيعة، وإلى أسياد للطبيعة، وأخيرا

محافظين على الطبيعة. فدعونا إذن نأمل في أن نتمكن من السيطرة ببراعة على سيف العلم بالحكمة ورباطة الجأش، ومن ترويض النزعة البربرية التي سادت ماضينا القديم.

دعونا الآن نحجز مقاعدنا في رحلة افتراضية تعبر بنا الأعوام المئة المقبلة من الابتكارات والاكتشافات العلمية، وذلك حسبما حكى لي العلماء الذين ينفذون ذلك. سوف تكون رحلة برية نجوس فيها خلال التطورات السريعة ومناحي التقدم في مجالات الحاسبات والاتصالات والتكنولوجيا الحيوية والذكاء الاصطناعي والنانو تكنولوجي. إنها ستغير دون شك وجه الحضارة.





# الفصل الأول



## مستقبل الحاسوب العقل يسمو على المادة

«كلنا يجعل من حدود رؤيته حدودا للعالم بأسره»

- آرثر شوبنهاور<sup>(1)</sup>

«لم يسبق من قبل لأي متشائم أن اكتشف أسرار النجوم أو أبحر إلى أرض لا تظهر على الخرائط أو فتح أبواب فردوس جديد للروح الإنسانية»

- هيلين كيللر<sup>(2)</sup>

أتذكر جيدا أنني كنت جالسا في مكتب مارك ويزر Mark Weiser بوادي السليكون منذ ما يقرب من عشرين عاما وهو يشرح لي رؤيته للمستقبل. ومن خلال إيماءاته بيديه، شرع يخبرني في حماس أن ثورة جديدة على وشك الاندلاع من شأنها أن تغير وجه العالم. كان (وزير) يشكل جزءا من مجتمع الصفوة في دنيا الحاسوب، إذ كان يعمل في مركز (زيروكس بارك) Xerox PARK (مركز أبحاث بالو ألتو، الذي كان أول من اقترح مجال الحاسوب الشخصي، وطابعات الليزر، والبنيان المعماري

(1) آرثر شوبنهاور Arthur Schopenhauer: فيلسوف ألماني (1788 – 1860) اشتهر بالتشاؤم والوضوح الفلسفي. نشر في سن الخامسة والعشرين رسالة الدكتوراه بعنوان (الأصول الأربعة لمبدأ السبب الكافي)، وتتناول المنطق في عالم الظواهر. (المترجم)

(2) هيلين آدامز كيللر Helen Adams Keller: (1880 – 1968) أديبة أمريكية صماء وعمياء وبكماء وناشطة سياسية، ولدت مصابة بالعمى والصمم وتولت تربيتها المربية آن سوليفان Anne Sullivan، ومن مؤلفاتها (ملك الصقيع) The Frost King في سن الحادية عشر و(قصة حياتي) The Story of My Life. (المترجم)

بنمط ويندوز مع واجهة رسومات للمستخدم)، غير أنه كان يتمتع بفكر مستقل، ولا يؤمن بالمعتقدات البالية، ويحطم كل الأمور البديهية المتعارف عليها، كما كان أيضا عضوا في إحدى فرق الروك الجامحة.

في ذلك العهد (يبدو الأمر وكأن عمرا بأكمله قد مضى)، كانت الحواسيب الشخصية أمرا مستحدثا، تبدأ حثيثا في اختراق حياة الناس، مع حماسهم المتباطئ نحو فكرة شراء حاسبات مكتبية هائلة وضخمة من أجل إنجاز تحليل الجداول مع القليل من معالجة النصوص. كانت الإنترنت ما زالت بقدر كبير منطقة معزولة قاصرة على العلماء أمثالي، الذين يرسلون أقرانهم من العلماء الآخرين فيبعثون إليهم بمعادلات رياضية بلغة غامضة. كانت هناك مناقشات حامية تدور حول ما إذا كان من الممكن لهذا الصندوق القابع فوق سطح مكتبك أن يفرغ الحضارة من إنسانيتها بنظرته الباردة غير المتسامحة. حتى المحلل السياسي وليم إف. باكلي William F. Buckley كان مضطرا للدفاع عن معالج النصوص ضد هجوم المفكرين الذين عارضوه ورفضوا المس أي حاسوب بأي حال، مطلقي عليه اسم (أداة غير المثقفين).

خلال تلك الحقبة من الجدال صاغ (وزير) مصطلح (الحاسوب في كل مكان). وكان يرى لما هو أبعد بكثير من الحاسوب الشخصي، كان يتنبأ بأن رقاقات الحاسوب سوف تصبح ذات يوم من الرخص والوفرة بحيث تصبح منتشرة في جميع أنحاء البيئة من حولنا؛ في ملابسنا، داخل أثاثنا، وجدراننا، بل وحتى داخل أجسامنا. وسوف تصبح جميعها متصلة بشبكة الإنترنت، تتبادل البيانات، وتجعل حياتنا أكثر بهجة، وتلبي

لنا أمانينا. في كل مكان نذهب إليه، سوف تلبي لنا الرقاقات أمانينا في صمت. سوف تصبح البيئة مفعمة بالحياة.

بالنسبة لذلك الوقت، كان حلم (وزير) بيدو غريبا، بل ومنافيا للعقل. كانت الحواسيب الشخصية ما زالت باهظة الثمن بل وغير متصلة بالإنترنت. كانت فكرة أن تصبح مليارات من الرقاقات صغيرة الحجم ذات يوم رخيصة رخص المياه الجارية تعد فكرة أقرب إلى الجنون.

ثم سألته بعد ذلك عن سبب شعوره بتلك الثقة الشديدة في وقوع تلك الثورة. فأجابني في هدوء أن قدرة الحاسوب في نمو متضاعف، ولا تبدو هناك نهاية في الأفق لذلك النمو. وألح لي بقوله، أجر العملية الحسابية. إن المسألة مسألة وقت ليس إلا. (من المؤسف، أن وزير لم يعيش طويلاً ليشاهد ثورته وقد صارت حقيقة واقعة، إذ توفي بمرض السرطان عام 1999).

كانت القوة الدافعة التي تقف وراء أحلام وزير التنبؤية شيئا اسمه قانون مور، وهو مبدأ قاد صناعة الحواسيب لخمسين عاما أو يزيد، محددًا إيقاع خطى الحضارة الحديثة فيما يشبه تروس الساعة. إن قانون مور ينص ببساطة على أن قدرة الحاسوب تتضاعف كل فترة تناهز ثمانية عشر شهرا. كان أول من ذكر هذا القانون عام 1965 جوردون مور Gordon Moore، وهو واحد من مؤسسي (إنتل)، وقد ساعد هذا القانون البسيط على إشعال ثورة في اقتصاد العالم، وحقق ثروات جديدة هائلة، وغير أسلوب حياتنا إلى الأبد. عندما تضع إحداثيات السعر الآخذ في الانخفاض لرقاقات الحاسوب وتقدمها السريع من حيث سرعة وقدرة المعالجة، والذاكرة تجد أمامك خطأ مستقيما بشكل عجيب يعود إلى خمسين عاما مضت.

(لقد وضعت تلك الإحداثيات على منحني لوغاريتمي. والحقيقة، أنك إذا قمت بمد الشكل البياني، بحيث يشمل تكنولوجيا أنبوب التفريغ بل وحتى آلات الجمع الحسابي الميكانيكية التي تلف باليد، يمكن مد الخط على استقامته لأكثر من 100 سنة ماضية).

وكثيرا ما يصعب الإمساك بالنمو الأسّي أي المتضاعف بقوة الأس، إذ إن عقولنا تفكر بنمط خطي منتظم. إنه تدريجي إلى الدرجة التي تجعلك في بعض الأحيان غير قادر على الإحساس بالتغيير على الإطلاق. لكن مع مرور عقود، يمكنه أن يغير تماما كل شيء من حولنا.

ووفق قانون مور، فإنه في كل عيد كريسماس تتضاعف قدرات ألعاب حاسوبك الجديدة تقريبا (من حيث عدد الترانزستورات) مقارنة بالتوقيت ذاته من العام الماضي. أضف إلى ذلك، أنه مع مرور السنين، تصبح هذه الزيادة التراكمية هائلة. فعلى سبيل المثال، عندما تتلقى في البريد بطاقة معايدة بمناسبة عيد ميلادك، غالبا ما تكون بها رقاقة تغني لك أغنية (عيد ميلاد سعيد). العجيب، أن هذه الرقاقة تتمتع بقدرة حاسوب تفوق كل ما كانت تملكه قوات الحلفاء عام 1945. ولو كان هتلر أو تشرشل أو روزفلت علموا بأمر هذه الرقاقة لتقاتلوا عليها. لكن ما الذي نفعله بها؟ بعد انتهاء عيد الميلاد، نلقي بالبطاقة والرقاقة في سلة المهملات. واليوم، صار هاتفك الجوال يمتلك قدرة حاسبة تفوق ما كانت تملكه وكالة ناسا عام 1969، عندما أرسلت رائدي فضاء إلى القمر. وألعاب الفيديو، التي تستهلك مقادير هائلة من قدرة الحاسب من أجل محاكاة المواقف ثلاثية الأبعاد، تستخدم قدرات حاسبة تفوق ما كانت تملكه حاسبات المين فريم

Main frame التي كانت سائدة في عقد سابق. إن أجهزة سوني بلاي ستيشن الموجودة اليوم، وسعرها 300 دولار، تملك قدرة حاسبة كان يمتلكها الحاسب العسكري الفائق عام 1997، الذي تكلف بناؤه ملايين الدولارات.

إن باستطاعتنا فهم الفارق بين النمو الخطي والنمو الأسّي لقدرة الحاسوب عندما نحلل أسلوب رؤية الناس لمستقبل الحاسوب في ذلك العهد عام 1949، عندما تنبأت مجلة (بوبيولار ميكانيكس) Popular Mechanics بأن الحاسبات سوف تنمو في المستقبل خطياً، ربما بالتضاعف مرتين أو ثلاث مرات في كل مرة. وكتبت المجلة تقول: (في الوقت الذي نجد فيه آلة حاسبة مثل (إنياك) ENIAC اليوم مجهزة بـ 18 ألف أنبوب مفرغ وتزن 30 طناً، فإن الحاسبات في المستقبل قد لا تحتوي سوى على 1000 أنبوب مفرغ ولن يتعدى وزنها 1.5 طن فقط).

(الطبيعة الأم تقدر قيمة الأس. فالفيروس الواحد يمكنه غزو الخلية البشرية واختطافها وإرغامها على خلق عدة مئات من النسخ منه. إن الفيروس الواحد الذي ينمو بمضاعفات رقم مئة في كل جيل، يمكنه توليد 10 مليارات فيروس في خمسة أجيال لا أكثر. فلا عجب إذن أن الفيروس الواحد يمكنه إصابة الجسم البشري، الذي يحوي تريليونات الخلايا السليمة، بالعدوى ويصيبك بنزلة برد في خلال أسبوع أو نحو ذلك على الأكثر).

لم يزد فقط مقدار قدرة الحاسوب، لكن أسلوب تحقيق هذه القدرة تغير هو الآخر تغيراً جذرياً، وكانت له تداعيات هائلة على الاقتصاد. ويمكننا



- رؤية هذا التقدم المضطرد، عقدا وراء عقد:
- خمسينيات القرن العشرين. كانت أجهزة الحاسوب التي تعمل بأنبوب التفريغ عبارة عن آلات عجيبة الشكل تملأ غرفا بأكملها تحوي غابات من الأسلاك والملفات والفولاذ. لم تكن هناك جهة قادرة على تحمل تكلفة هذه الأجهزة الضخمة سوى الجيش.
  - الستينيات. حلت الترانزستورات محل أجهزة الحاسوب التي تعمل بأنبوب التفريغ، وبدأت أجهزة المينفرم تدخل السوق التجارية تدريجيا.
  - السبعينيات. بدأت لوحات الدوائر المتكاملة (آي سي)، التي تحتوي على المئات من الترانزستورات، تصنع ما عرف بالميكروكمبيوتر، الذي كان في حجم المكتب الكبير.
  - الثمانينيات. الرقاقات، التي تحتوي على عشرات الملايين من الترانزستورات، جعلت من الممكن صنع الحواسيب الشخصية التي يمكن وضعها في حقيبة أوراق.
  - التسعينيات. ربطت الإنترنت بين مئات الملايين من أجهزة الحاسوب في شبكة حاسوب عالمية واحدة.
  - بعد عام 2000 حرر مبدأ الحاسوب في كل مكان الرقاقة من الحاسوب، وبهذا انتشرت الرقاقات في البيئة من حولنا.
- إذن النموذج القديم (رقاقة واحدة داخل حاسوب مكتبي أو محمول (لابتوب) متصل بحاسوب) بدأ يحل محله نموذج جديد (آلاف الرقاقات المبعثرة في كل شيء كالأثاث، والأجهزة المنزلية، والصور، والجدران، والسيارات، والملابس كلها تتحدث إلى بعضها بعضا وتتصل بالإنترنت).

عند وضع تلك الرقاقات داخل جهاز ما، نجده يتحول فيما يشبه المعجزة. فعند زرعها في الهواتف، تتحول إلى هواتف محمولة. وعند زرعها في كاميرات، تصير كاميرات رقمية. وصارت ماكينات لعبة (بين بول) ألعاب فيديو. وصارت أجهزة الفونوغراف (آي بود). وصارت الطائرات وحوشا مفترسة مميتة تطير دون طيار. في كل مرة، تحدث ثورة في إحدى الصناعات وتولد من جديد. وفي نهاية المطاف، سوف يصير كل شيء من حولنا تقريبا ذكيا. وستصير الرقاقات من الرخص بحيث تصبح تكلفتها أقل من سعر تغليفها البلاستيكي وسوف تحل محل الباركود. والشركات التي لا تجعل منتجاتها ذكية سوف تجد نفسها مطرودة من المجال الصناعي الذي تعمل به من منافسيها الذين سيقومون بذلك.

وبطبيعة الحال، سنظل محاصرين بشاشات الحاسوب، لكنها ستصير أشبه بورق الحائط، وإطارات اللوحات، والصور العائلية، لا الحاسوب. تخيل جميع الصور والصور الفوتوغرافية التي تزين منازلنا اليوم؛ تخيل الآن أن كل واحدة منها صارت مفعمة بالحياة، ومتحركة، ومتصلة بالإنترنت. عندما نسير خارج المباني، سوف نرى الصور تتحرك، لأن الصور المتحركة سوف تكون تكلفتها بسيطة مثلها مثل الصور الثابتة.

إن مصير الحواسيب - مثلها مثل التقنيات الأخرى التي تنتج بالجملة كالكهرباء، والورق، والمياه الجارية - أنها ستصير غير مرئية، بمعنى، أنها ستختفي داخل نسيج حياتنا، وتصير في كل مكان لكنها خفية، تحقق لنا أمانينا في سلاسة ودون ضجيج.

واليوم، عندما ندخل إحدى الغرف، نبحث ألياً عن مفتاح الإضاءة،

إذ إننا نفترض أن الجدران متصلة بالكهرباء. وفي المستقبل، سوف يكون أول شيء نصنعه أن نبحت عن مقبس الإنترنت، لأننا نفترض أن الغرفة ذكية. أو على حد تعبير الروائي (ماكس فريش) Max Frisch الذي قال يوماً: (التكنولوجيا (هي) البراعة في أن ترتب العالم على نحو لا نظير للإحساس به).

يتيح لنا قانون مور أيضاً التنبؤ بتطور الحاسوب في المستقبل القريب. فخلال العقد المقبل، سوف تجتمع الرقاقات مع أجهزة الاستشعار فائقة الحساسية، بحيث يمكنها اكتشاف الأمراض، والحوادث، وحالات الطوارئ وأن تنبهنا قبل أن تخرج عن نطاق السيطرة. وسوف تتعرف بدرجة ما على الصوت البشري وعلى الوجوه وتتحدث بلهجة رسمية. وسوف تكون قادرة على خلق عوالم افتراضية كاملة لا يمكننا اليوم سوى أن نحلم بها. وحوالي عام 2020، سوف ينخفض سعر الرقاقة الواحدة إلى ما يقرب من بنس واحد، وهي تكلفة الورق (الدشت). وبعدها سوف تكون لدينا ملايين الرقاقات الموزعة في كل مكان في البيئة من حولنا، تنفذ أوامرنا في صمت.

وفي نهاية المطاف، سوف تختفي كلمة حاسوب نفسها من قاموسنا اللغوي.

وحتى أناقش التقدم الذي سيحرزه العلم والتكنولوجيا في المستقبل، قسمت كل فصل إلى ثلاث فترات زمنية: المستقبل القريب (من اليوم حتى عام 2030)، ومتنصف القرن (من 2030 حتى 2070)، وأخيراً المستقبل البعيد، أي من 2070 إلى 2100. تلك الفترات الزمنية ليست سوى فترات

تقريبية، لكنها توضح الإطار الزمني لمختلف الاتجاهات التي يصورها هذا الكتاب.

إن النهضة السريعة التي ستحققها قدرات الحاسوب بحلول عام 2100 سوف تمنحنا قدرات تشبه قدرات آلهة الأساطير التي سمعنا قصصها وأذهلتنا ذات يوم، فتمكننا من التحكم في العالم من حولنا. بمجرد التفكير. ومثل آلهة الأساطير، التي يمكنها تحريك الأشياء وإعادة تشكيل الحياة بتلوحة بسيطة باليد أو إمعاء بالرأس، سوف نكون أيضا قادرين على السيطرة على العالم من حولنا باستخدام قوة عقولنا. وسنكون في حالة اتصال ذهني متواصل مع رفاقات منتشرة في بيئتنا ننفذ أوامرنا في صمت. وأتذكر أنني كنت أشاهد ذات يوم حلقة من مسلسل Star Trek، وفيها مر طاقم السفينة الفضائية (إنتربرايز) Enterprise على كوكب تسكنه آلهة الإغريق. وكان واقفا أمامهم الإله أبولو كالبرج، شخصية عملاقة كان بإمكانها أن تبهر طاقم السفينة وتهيمن عليهم بأعمال الآلهة. لقد كان علم القرن الثالث والعشرين لا حول له ولا قوة. لكن بمجرد تعافي أفراد الطاقم من صدمة مواجهة آلهة اليونان، سرعان ما أدركوا أنه لا بد أن يكون ثمة مصدر لطاقته، وأن أبولو يجب بكل بساطة أن يكون في حالة اتصال ذهني بحاسوب مركزي ومحطة طاقة يلبيان له أمنياته. وبمجرد تحديد الطاقم لموقع مصدر الطاقة وتدميره، تضائل أبولو إلى كائن عادي يمكن أن يدركه الموت.

لقد كانت هذه مجرد حكاية خرافية من هوليوود. لكن إذا توسعنا في اكتشافاتنا الجذرية التي تتم الآن في معاملنا، فإنه يصبح في مقدور العلماء

تخيل ذلك اليوم الذي يمكننا نحن أيضا فيه استعمال التحكم التخاطري  
عن بعد في السيطرة على حواسنا التي تمنحنا قدرات أبولو.

# المستقبل القريب

## (من الوقت الحاضر إلى عام 2030)

### دورات الإنترنت والعدسات اللاصقة

اليوم يمكننا الاتصال بالإنترنت عن طريق حاسباتنا وهواتفنا المحمولة. لكن في المستقبل، سوف تصبح الإنترنت في كل مكان؛ على الشاشات الحائطية، الأثاث، على لوحات إعلانات الشوارع، بل وحتى داخل نظاراتنا وعدساتنا اللاصقة. وعندما نرمل بجفوننا، يمكننا أن نصبح (أون لاين).

هناك سبل عدة يمكننا من خلالها وضع الإنترنت على عدسة. فالصورة يمكن أن تومض من نظاراتنا مباشرةً من خلال عدسة عينك لتسقط على شبكية العين. ويمكن أيضاً عرض الصورة على العدسة، والتي تعمل ساعتها وكأنها شاشة عرض بروجيكتور. أو يمكن تثبيتها في إطار النظارة، وكأنها عدسة صانع صغيرة. وأثناء تحديقنا في النظارة، نشاهد الإنترنت، وكأننا نشاهد فيلماً سينمائياً. وبعدها يمكننا التعامل معه باستخدام جهاز ممسوك باليد يتحكم في الحاسوب من خلال اتصال لاسلكي. وبممكننا أيضاً ببساطة تحريك أصابعنا في الهواء للتحكم في الصورة، إذ إن الحاسوب يتعرف على موقع أصابعنا أثناء تلوينها بها.

على سبيل المثال، منذ عام 1991، عمل العلماء في جامعة واشنطن University of Washington على إتقان العرض الشبكي الافتراضي

(VRD)، وفيه تومض أضواء الليزر الحمراء والخضراء والزرقاء مباشرةً فوق الشبكية. بمجال رؤية زاويته 120 درجة ودرجة وضوح صورة 1200×1600 بيكسل، يمكن للعرض بطريقة VRD إنتاج صورة براقة حية يمكن مقارنتها بتلك التي تشاهدها في قاعة السينما. ويمكن توليد الصورة باستخدام خوذة أو نظارات الوقاية أو النظارات العادية.

خلال عقد التسعينيات، أتيحت لي الفرصة لتجربة نظارات الإنترنت. وكانت نسخة أولية صنعها علماء في ميديا لاب بمعهد ماساشوستس للتكنولوجيا. كانت تبدو أشبه بزواج النظارات العادية، فيما عدا أنها مزودة بعدسة اسطوانية الشكل طولها حوالي 1/2 بوصة، مثبتة في الركن الأيمن من العدسة. كان باستطاعتي النظر من خلال النظارة دون أي مشكلة. لكنني إذا طرقت بخفة على النظارة، فإن العدسة الصغيرة تسقط لتصبح أمام عيني. فإذا حددت في العدسة، صار في استطاعتي بوضوح تبين شاشة كمبيوتر كاملة، إلا أنها تبدو أصغر قليلاً من شاشة الحاسب الشخصي المعهودة. وقد فوجئت بمدى الوضوح الذي تميزت به، تقريباً كما لو كانت الشاشة أمام وجهي مباشرةً. وبالضغط على الأزرار، كان في استطاعتي التحكم في المؤشر الظاهر على الشاشة بل وحتى كتابة التعليمات على لوحة مفاتيح.

في عام 2010، وفي برنامج كنت أقدمه في قناة (ساينس) Science Channel، ذهبت في رحلة إلى فورت بينينج، جورجيا، لفحص أحدث (إنترنت لميدان المعركة) مملوك للجيش الأمريكي، اسمه (المحارب البري). وضعت على رأسي خوذة خاصة ذات شاشة مصغرة الحجم

مثبتة إلى جانبها. وعندما قلبت الشاشة فوق عيني، أمكنني فجأة أن أرى صورة مذهلة: ميدان المعركة بالكامل وهناك علامة إكس تحدد موقع الجيوش الصديقة و جيوش الأعداء. والمثير للإعجاب أن (ضباب المعركة) انقشع، وكانت أجهزة استشعار تحديد الموقع الجغرافي GPS تحدد بدقة موقع جميع القوات، والدبابات، والمباني. عن طريق النقر على زر، تتغير الصورة سريعا، فتجعل الإنترنت تحت تصرفي في ميدان المعركة، مع تزويدي ببيانات تتعلق بحالة الطقس، وتنظيم الجيوش الصديقة والمعادية، وإستراتيجياتها وتكتيكاتها.

في نسخة أكثر تقدما بكثير تومض الإنترنت مباشرةً من خلال عدساتنا اللاصقة عن طريق زرع رقاقة وشاشة عرض LCD داخل البلاستيك. يضع باباك آيه. بارفيز Babak A. Parviz ومجموعته بجامعة واشنطن في سياتل الأساس لعدسات الإنترنت اللاصقة، حيث يصممون نماذج مبدئية ربما تغير في نهاية المطاف من أسلوبنا في الدخول على الإنترنت.

وهو يتوقع أن يكون من بين التطبيقات الفورية لهذه التكنولوجيا مساعدة مرضى السكري على تنظيم مستويات الجلوكوز لديهم. وسوف تعرض العدسة قراءة مباشرة لأحوال أجسادهم. لكن هذه ليست سوى البداية. في نهاية الأمر، يحلم بارفيز بذلك اليوم الذي نصبح قادرين فيه على إنزال أي فيلم، أو أغنية، أو موقع إنترنت، أو معلومة من الإنترنت على عدستنا اللاصقة. سوف يكون لدينا نظام ترفيهي منزلي متكامل داخل عدساتنا ونحن جالسون في مقاعدنا الوثيرة نستمتع بأفلام روائية طويلة. يمكننا أيضا استخدامها في الاتصال مباشرةً بحاسب مكتبنا من خلال عدساتنا،



ثم نتعامل مع الملفات التي تومض أمامنا. ونحن مرتاحون على الشاطئ، يمكننا إقامة مؤتمر عن بعد مع المكتب. بمجرد الرمش بالجبون.

بزرع بعض البرامج التي تتعرف على النمط في نظارات النت هذه، سوف يمكنها أيضا التعرف على الأشياء بل وحتى على وجوه بعض الناس. بعض برامج الحاسب يمكنها بالفعل التعرف على الوجوه التي سبقت برمجتها بدقة تزيد على 90 في المئة. ليس الاسم فقط، وإنما السيرة الذاتية للشخص الذي نتحدث معه قد تومض أمامك وأنت تتكلم. ففي اجتماع ما قد ينهي هذا الأمر الإحراج الذي يحدث عندما تفاجأ بشخص ما تعرفه لكنك لا تتذكر اسمه. قد يؤدي هذا أيضا وظيفة مهمة في حفلات الكوكتيل، حيث يكون هناك أغراب كثيرون، بعضهم يتمتعون بأهمية كبيرة للغاية، لكنك لا تعرف هويتهم. وفي المستقبل، سوف تكون قادرا على تحديد هوية الغرباء ومعرفة نبذة عنهم، حتى وأنت تتحدث معهم. (هذا يشبه إلى حد ما العالم وأنت تراه من خلال عيون الروبوت في فيلم المدمر Terminator).

ربما غير هذا من النظام التعليمي. ففي المستقبل، سوف يكون الطلاب الذين يحضرون اختبار نهاية العام قادرين على أن يمسخوا الإنترنت في صمت عبر عدساتهم اللاصقة بحثا عن إجابات الأسئلة، وهو ما يمكن أن يفرض مشكلة واضحة على المعلمين الذين كثيرا ما يعتمدون على الحفظ عن ظهر قلب. ومعنى هذا أن المعلمين سوف يشددون على قدرات التفكير والتحليل المنطقي.

قد تحتوي نظارتك أيضا على كاميرا فيديو دقيقة الحجم في إطارها،

وبهذا يمكنها تصوير الأماكن المحيطة بك ومن ثم بث الصور مباشرةً على الإنترنت. وقد يكون الناس من جميع أنحاء العالم قادرين على تبادل تجاربهم معاً أثناء حدوثها. وأياً كان ما تشاهده، فإن آلاف من الآخرين سوف يكونون قادرين على مشاهدته هم كذلك. وسوف يعلم أولياء الأمور ما يفعله أبناؤهم. وقد يتقاسم المحبون ما يعيشون من تجارب عندما يكونون متباعدين. وسوف يصبح الناس في الحفلات الموسيقية قادرين على إيصال مدى ما يشعرون به من إثارة وانفعالات إلى الجماهير من جميع أنحاء العالم. وسوف يزور المفتشون المصانع البعيدة ومن ثم يثون صوراً حية مباشرة إلى عدسات رؤسائهم اللاصقة. (أو قد يقوم أحد الزوجين بالتسوق، في الوقت الذي يبدي الآخر تعليقه على ما يشتريه الأول).

بالفعل تمكن بارفيز من تصغير رقاقة الحاسوب بحيث يمكن وضعها داخل غلالة العدسة اللاصقة الرقيقة المصنوعة من اللدائن. ونجح كذلك في وضع وحدة LED (ديود باعث للضوء) داخل العدسة اللاصقة، وهو يعمل الآن على عدسة بها مصفوفة 8×8 من وحدات LED. ويمكن التحكم في عدسته اللاصقة بالاتصال اللاسلكي. وعلى حد زعمه، (سوف تشتمل تلك المكونات في نهاية الأمر على مئات من وحدات LED، التي سوف تصنع الصور أمام العين، مثل الكلمات، والخرائط، والصور الفوتوغرافية. كثير من الأجهزة تكون شبه شفافة بحيث يمكن لمستخدميها الإبحار في البيئة المحيطة به دون الاصطدام بها أو فقدان اتجاهه). وهدفه النهائي، والذي ما زال أمامه سنوات لكي يحققه، هو صنع عدسة

لاصقة ذات 3600 بكسل، كل واحدة منها لا يزيد سمكها على 10 ميكرون.

إحدى مزايا عدسة الإنترنت اللاصقة أنها تستهلك قدراً بالغ الضآلة من الطاقة، لا يزيد على بضعة أجزاء من المليون من الواط، لهذا فهي شديدة الوفرة في احتياجاتها من الطاقة ولا تعمل على إفراغ البطارية. وهناك ميزة أخرى، وهي أن العين والعصب البصري هما بصورة ما امتداد مباشر للمخ البشري، وبهذا فإننا نحصل على مدخل مباشر إلى المخ البشري دون أن نضطر لزراعة أقطاب كهربائية. وتقوم العين والعصب البصري بنقل المعلومات بمعدل يتجاوز معدل الاتصال بالنسبة فائق السرعة. وبهذا فإن عدسة الإنترنت اللاصقة ربما تكون الأكثر كفاءة والأسرع وصولاً للمخ. إن إضاءة صورة على العين عبر العدسة اللاصقة تعد أكثر تعقيداً إلى حد ما مما هو عليه الحال في نظارات الإنترنت. إن وحدة الديود الباعث للضوء يمكنها إنتاج نقطة، أو بكسل، من الضوء، لكن عليك أن تضيف عدسة مصغرة بحيث تركز مباشرة على الشبكية. سوف تظهر الصورة النهائية سابحة على بعد قدمين منك. وهناك تصميم أكثر تقدماً يفكر بارتداف فيه، ألا وهو استخدام الميكروليزر microlaser في إرسال صورة بالغة الحدة إلى الشبكية مباشرة. باستخدام التكنولوجيا ذاتها في صناعة الرقاقات التي يتم بها نحت الترانزستورات الدقيقة، يمكن للمرء أيضاً حفر ليزرات دقيقة بالحجم ذاته، فيصنع أصغر ليزرات في العالم. الليزرات التي يبلغ عرضها حوالي 100 ذرة متاحة لهذه التقنية من حيث المبدأ. مثل الترانزستورات، يمكنك بالتالي حشد ملايين الليزرات داخل رقاقة بحجم ظفرك.

## سيارة دون قائد

في المستقبل القريب، سوف تكون قادراً أيضاً على تصفح شبكة الإنترنت بأمان من خلال عدساتك اللاصقة في الوقت الذي تقود فيه سيارتك. إن الذهاب للعمل لن يمثل ذلك العبء المؤلم الذي كان يمثل لك، لأن السيارات ستقود نفسها. والسيارات التي بلا قائد تستطيع بالفعل باستخدام جهاز GPS تحديد مواقعها في حدود بضع أقدام، وتستطيع السير لمئات الأميال. وقد رعت وكالة مشاريع أبحاث الدفاع المتطورة التابعة للبننتاجون (DARPA) مسابقة، أسمتها التحدي الكبير لـ DARPA، وفيها دعت المعامل للتقدم بعروضها لسيارات بلا قائدين لخوض سباق تخرق فيه صحراء (موجافي) للفوز بجائزة مقدارها مليون دولار. وفي هذا كانت DARPA تواصل تقليدها الذي بدأت منذ أمد بعيد في تمويل تقنيات حاملة وإن كانت تتسم بالمخاطرة.

(من الأمثلة على مشروعات البنتاجون شبكة الإنترنت نفسها، التي صممت في الأصل من أجل ربط العلماء والمسؤولين ببعضهم بعضاً أثناء اندلاع حرب نووية وبعد أن تضع أوزارها، وكذلك نظام GPS، الذي صمم في الأصل لتوجيه صواريخ ICBM. لكن كليهما، الإنترنت و GPS، كان سريراً ولم يطرح لعموم الناس إلا بعد انتهاء الحرب الباردة).

في عام 2004، بدأت المسابقة بداية مرحلة، عندما لم تتمكن سيارة واحدة دون قائد من قطع 150 ميلاً من الأراضي الوعرة وعبور خط النهاية. فالسيارات الأشبه بالروبوت إما تحطمت وإما ضلت الطريق. لكن في العام التالي، أكملت خمس سيارات مسافة السباق التي كانت

حتى أكثر صعوبة من سابقتها؛ حيث تعين عليها السير في طرق احتوت على 100 منعطف حاد، والمرور في ثلاثة أنفاق ضيقة، وقطع مسارات بها منحدرات شديدة.

وقد ذكر المحللون أن السيارات الأشبه بالروبوت ربما تكون قادرة على السير في الصحراء، لكن ليس في شوارع المدينة المزدحمة. وهكذا في عام 2007، رعت DARPA مشروعاً أكثر طموحاً من هذا، التحدي الحضري Urban Challenge، وفيه كان على السيارات الآلية أن تكمل مسارا منهكاً مسافته 60 ميلاً عبر أراضٍ تحاكي المدن في أقل من ست ساعات. وكان على السيارات إطاعة قوانين المرور كافة، وأن تتفادى السيارات الآلية الأخرى طيلة مسار السباق، وأن تدبر أمرها في التقاطعات ذات الأربع اتجاهات. وأتمت ست فرق بنجاح التحدي الحضري، وحصلت الثلاثة الأولى منها على جوائز قيمتها مليوني، وواحد مليون، ونصف مليون دولار على الترتيب.

إن الهدف الذي يسعى إليه البتاجون هو جعل ثلث القوات البرية الأمريكية بالكامل آلية الحركة بحلول عام 2015. ويمكن لهذه التقنية أن تثبت مدى جدواها في إنقاذ الأرواح، إذ إنه في الآونة الأخيرة كانت معظم الإصابات بين الجنود الأمريكيين من القنابل التي تزرع على جانبي الطريق. وفي المستقبل، ستكون كثير من المركبات الحربية الأمريكية دون قائد على الإطلاق. لكن على مستوى المستهلكين، قد يعني هذا تصنيع سيارات تقود نفسها بضغطة زر، فتيح لسائقها أن يعمل ويسترخي ويبيدي إعجابه بالمشاهد من حوله أو يشاهد فيلماً أو يتصفح الإنترنت.

وقد أتيحت لي الفرصة لكي أقود واحدة من تلك السيارات بنفسني لصالح برنامج تلفزيوني تنتجه قناة ديسكفري Discovery. كانت سيارة رياضية رشيقة للغاية، أدخل عليها المهندسون بجامعة ولاية نورث كارولينا North Carolina State University تعديلات بحيث صارت ذاتية القيادة تماماً. كانت حاسباتها تملك قدرة ثمانية حاسبات شخصية. وكان ركوب السيارة يمثل لي مشكلة إلى حد ما، إذ كانت مزدحمة من الداخل. ففي جميع أنحاء من الداخل، استطعت أن أرى مكونات إلكترونية شديدة التعقيد مترامية فوق المقاعد والتابلوه. وعندما أمسكت بعجلة القيادة، لاحظت أن لها كابلاً مطاطياً خاصاً يتصل بمحرك صغير. وبهذا كان في مقدور الحاسب الآلي، عن طريق التحكم في المحرك، إدارة عجلة القيادة. وبعد أن أدت المفتاح، وضعت قدمي على دواسة البنزين، ووجهت السيارة نحو الطريق السريع، وضغطت على أحد المفاتيح الذي أتاح للحاسب تولي زمام الأمور. ورفعت يدي من على مقود السيارة، فبدأت السيارة تقود نفسها. كنت واثقاً بشدة في السيارة، التي كان حاسبها الآلي يجري باستمرار تعديلات دقيقة من خلال الكابل المطاطي على عجلة القيادة. وفي البداية، كان من العجيب بعض الشيء أن ألاحظ أن عجلة القيادة ودواسة البنزين تتحركان من تلقاء نفسيهما. وشعرت كما لو كان هناك سائق غير مرئي، يشبه الشبح قد سيطر على السيارة، لكنني بعد برهة اعتدت الأمر. في الحقيقة، صار الأمر متعة بعد ذلك، أن تسترخي في سيارة تقود نفسها بنفسها بدقة ومهارة سوبرمان. كان في استطاعتي أن أراجع إلى الخلف في مقعدي وأستمع بالرحلة.

كان نظام GPS بمثابة القلب بالنسبة للسيارة التي بلا سائق، فقد أتاح للحاسب أن يحدد موقعها في نطاق بضعة أقدام. (في بعض الأحيان، حسبما أخبرني المهندسون، يمكن لجهاز GPS تحديد موقع السيارة حتى نطاق بضعة بوصات). إن جهاز GPS نفسه يعد من روائع التكنولوجيا. فكل واحد من أقمار GPS الاثني والثلاثين التي تدور في فلك الأرض يث موجة راديو معينة، والتي تلتقطها بعد ذلك مستقبلات GPS داخل سياراتي. وتعرض الإشارة القادمة من كل قمر صناعي للتشوه نظرا لسير تلك الأقمار في مدارات مختلفة عن بعضها اختلافا طفيفا. ويطلق على هذا التشوه اسم (انحراف دوبلر) Doppler shift. (موجات الراديو، على سبيل المثال، تنضغط إذا كان القمر يتحرك باتجاهك، وتوسع إذا كان في حالة ابتعاد عنك). وبتحليل ذلك التشوه الطفيف للترددات الآتية من الأقمار الصناعية الثلاثة أو الأربعة، يستطيع حاسب السيارة تحديد موضعي بدقة.

كان في السيارة أيضا رادار داخل مصداها بحيث تستشعر العوائق. وسوف يكون هذا أمرا بالغ الأهمية مستقبلاً، لأن كل سيارة سوف تتخذ بطريقة أوتوماتيكية إجراءات الطوارئ بمجرد اكتشافها لحادث وشيك الحدوث. واليوم، يموت في الولايات المتحدة سنويا ما يناهز 40 ألف شخص في حوادث سيارات. وفي المستقبل، ستلاشى تدريجيا عبارة (حادث سيارة) من اللغة.

قد تصبح الاختناقات المرورية كذلك أمرا من الماضي. سوف يكون حاسوب مركزي قادرا على تتبع الحركات كافة التي تقوم بها كل سيارة

على الطريق عن طريق الاتصال بكل سيارة تسير بلا قائد. سوف يكون من السهل حينذاك تحديد مواقع الاختناقات المرورية والمناطق التي تمثل عنق زجاجة على الطرق السريعة. في إحدى التجارب، التي أجريت شمال سان دييجو على الطريق رقم 15 الرابط بين الولايات، وضعت رقاقات كمبيوتر في الطريق بحيث صار الحاسوب المركزي قادراً على السيطرة على السيارات المنطلقة على الطريق. وفي حالة حدوث اختناق مروري، يسيطر الحاسوب على السيارة بدلاً من السائق ويسمح بإعادة الحركة الانسيابية للمرور من جديد.

سوف تكون سيارة المستقبل قادرة أيضاً على استشعار الأخطار الأخرى. فقد لقي الآلاف من الناس مصرعهم أو لحقت بهم إصابات في حوادث سيارات عندما غلب النعاس قائد السيارة، لا سيما ليلاً أو في حالة قطع مسافات طويلة في رحلات رتيبة. واليوم يمكن للحاسوب التركيز على عينيك وتحديد العلامات التي تنم عن بدء النعاس. وتتم عندئذ برمجة الحاسوب بحيث يصدر صوتاً ويوقظك من النعاس. فإذا فشل هذا الأمر، يتولى الحاسوب قيادة السيارة. ويمكن للحاسبات أيضاً التعرف على وجود كميات مفرطة من الكحول في السيارة، مما قد يخفض من الآلاف من حالات الوفيات المتعلقة بتعاطي الخمر والتي تقع سنوياً.

إن الانتقال إلى السيارات الذكية لن يحدث على الفور. في البداية، سوف تقوم القوات المسلحة بنشر هذه السيارات، وخلال ذلك سوف تعالج أي ثغرات في المنظومة. وبعدها سوف تدخل السيارات الروبوت السوق، فتظهر في بادئ الأمر على القطاعات الطويلة المملة الممتدة على



الطرق السريعة الرابطة بين الولايات. وبعدها، سوف تظهر في الضواحي والمدن الكبرى، غير أن القائد سوف يمتلك دوما القدرة على تولي زمام الأمور بدلاً من الحاسوب في حالات الطوارئ. وفي نهاية الأمر، سوف نتعجب كيف أمكننا أن نعيش دون تلك السيارات.

## شاشات على الجدران الأربعة

إن الحاسبات لن تكتفي بتخفيف عبء المشاوير التي نقوم بها بالسيارات وتقليل أعداد حوادث السيارات، وإنما ستساعد كذلك في ربطنا بأصدقائنا ومعارفنا. ففي الماضي، شكا البعض من أن ثورة الحاسوب أفقدتنا آدميتنا وعزلتنا عن بعضنا بعضاً. وحقيقة الأمر، أنها سمحت لنا بتوسيع دائرة معارفنا وأصدقائنا بصورة خرافية. فعندما تشعر بالوحدة أو تكون في حاجة إلى صحبة، فإن كل ما عليك أن تطلب من شاشة حائطك أن تقيم لعبة جسر مع غيرك ممن يشعرون بالوحدة في أي مكان من العالم. عندما ترغب في شيء من المساعدة في التخطيط لأجازة، أو تنظيم رحلة، أو تحديد موعد للالتقاء مع صديق أو صديقة، سوف تقوم بكل ذلك من خلال الشاشة.

وفي المستقبل، قد يكون أول ما يظهر لك على شاشتك الحائطية وجهها بشوشاً (وهو وجه يمكنك تغييره بحيث يلائم ذوقك). وسوف تطلب منه وضع خطة لأجازة تريد قضاءها. وهو يعلم مسبقاً بأفضلياتك وسوف يقوم بمسح الإنترنت ويقدم لك قائمة بأفضل الخيارات المتاحة بأفضل الأسعار.

وقد تتم أيضاً التجمعات العائلية عبر الشاشة الحائطية. جميع حوائط غرفة معيشتك سوف يكون بها شاشات حائطية، وبهذا سوف تصبح محاطا بصور أقاربك الآتية من أماكن بعيدة. وفي المستقبل، ربما قد لا يتمكن أحد أقاربك من زيارتك في مناسبة مهمة. وبدلاً من ذلك، ربما تتجمع العائلة حول الشاشة الحائطية وتحتفل بلقاء عائلي جزء منه واقعي والجزء الآخر افتراضي. أو من خلال عدساتك اللاصقة، يمكنك مشاهدة صور جميع أحبائك كما لو كانوا موجودين بالفعل، حتى لو كانوا على بعد آلاف الأميال. (علق بعض المعلقين على هذا بأن الإنترنت اعتبرت في الأصل جهازاً (ذكورياً) أنشأه المنتجون، بمعنى، أنه كان معنياً بالسيطرة على العدو في زمن الحرب. لكن الآن صارت الإنترنت بصورة أساسية جهازاً (أنثوياً)؛ لأنه صار معنياً بالوصول لمن يوجدون بعيداً عنا والاتصال بهم).

إقامة المؤتمرات عن بعد Teleconference سوف يحل بدلاً منه الحضور عن بعد Telepresence؛ صور كاملة ثلاثية الأبعاد وأصوات مجسمة لشخص ما تظهر على نظارتك أو عدستك اللاصقة. ففي أحد الاجتماعات على سبيل المثال، سوف يجلس الجميع حول مائدة، إلا أن بعض المشاركين لن يظهروا إلا على عدستك أنت. ودون عدستك، سوف تجد أن بعض المقاعد حول المائدة شاغرة. أما باستخدام عدستك، فسوف تشاهد صورة للجميع وهم جالسون في مقاعدهم كما لو كانوا موجودين بالفعل. (ومعنى هذا أن جميع المشاركين سوف يتم تصويرهم بالفيديو باستخدام كاميرا خاصة وهم جالسون حول مائدة مماثلة ثم

ترسل الصور عبر الإنترنت).

في فيلم (حرب النجوم) Star Wars، ذُهل المتفرجون عندما شاهدوا صورا ثلاثية الأبعاد لأشخاص تظهر في الهواء. لكن باستخدام تكنولوجيا الحاسوب، سوف نتمكن في المستقبل من رؤية تلك الصور ثلاثية الأبعاد بعُداستنا اللاصقة، ونظاراتنا، أو على شاشاتنا الحائطية.

في البداية، قد يبدو مستغرباً أن نتحدث إلى غرفة خالية من البشر. لكن تذكر، أنه عندما ظهر الهاتف لأول مرة، انتقده البعض، قائلين إن الناس سوف يتحدثون إلى أصوات بلا أجساد. وشكا هؤلاء من أن هذا الهاتف سوف يحل تدريجياً محل اللقاءات التي يجتمع فيها الأشخاص سوياً. وكانت الانتقادات محقة فعلاً، لكن اليوم صرنا لا نعبأ بالتحدث إلى أصوات بلا أجساد؛ لأنه زاد بشكل واسع من دائرة اتصالاتنا وأثرى حياتنا.

قد يغير هذا أيضاً من شكل حياتك الغرامية. فإذا كنت وحيداً، فإن شاشتك الحائطية سوف تتعرف على أفضلياتك السابقة والسمات البدنية والاجتماعية التي تتمناها فيمن تريد مواعده، ثم تمسح شبكة الإنترنت للحصول على شريك متاح. ولما كان الناس أحياناً ما يكذبون فيما يتعلق بالمعلومات الشخصية عنهم، فإنه كإجراء أمني، سوف تقوم شاشتك الحائطية بعمل مسح لتاريخ كل شخص من أجل اكتشاف البيانات الزائفة في سيرتهم الذاتية.

## الورق الإلكتروني المرن

هبط سعر شاشة التلفاز المسطحة، التي كان سعرها ذات يوم يزيد على عشرة آلاف دولار إلى ما يقرب من واحد على خمسين من ذلك السعر

خلال عقد واحد. وفي المستقبل، سوف يهبط سعر الشاشات المسطحة التي تغطي الحائط بأكمله هبوطاً مدوياً. وسوف تكون تلك الشاشات الحائطية مرنة وسمكها غاية في الرقة، باستخدام الـ OLEDs (وهي الحروف الأولى من عبارة معناها الديودات العضوية الباعثة للضوء). إنها مماثلة للديودات العادية الباعثة للضوء، إلا أنها مصنوعة من مركبات عضوية يمكن ترتيبها على هيئة لدائن، مما يجعلها مرنة. وكل بكسل على الشاشة المرنة متصل بترانزستور يتحكم في اللون وشدة الإضاءة.

يعمل علماء مركز الشاشات المرنة التابع لجامعة ولاية أريزونا بالفعل بالتعاون مع مؤسسة هيوليت باكارد والجيش الأمريكي، على إتقان صنع هذه التقنية. وسوف تدفع قوى السوق بعد ذلك تكلفة هذه التقنية نحو الهبوط، وتجعلها متاحة لعامة الناس. ومع هبوط السعر، قد تقترب تكلفة تلك الشاشات الحائطية في النهاية من سعر ورق الحائط العادي. إذن في المستقبل، عندما يفكر أحدهم في لصق ورق حائط، ربما تجده يضع بدلاً منها شاشات حائطية. وعندما يرغب في تغيير الرسم الذي على ورق الحائط، فإن كل ما عليه أن يضغط زراً. وبهذا يصبح تغيير الديكور أمراً غاية في البساطة. وربما تحدث تقنية الشاشات المرنة هذه ثورةً أيضاً في أسلوب تعاملنا مع حاسباتنا المحمولة. فلن نحتاج إلى حمل حاسب محمول (لايتوب) ثقيل معنا. فقد يصبح الحاسب المحمول مجرد فرخ بسيط من الـ OLEDs نطبقه بعد ذلك ونضعه في حافظات نقودنا. وقد يحتوي الهاتف المحمول على شاشة مرنة يمكن جذبها للخارج، مثل الدرج. وبعد ذلك، وبدلاً من أن تلقى العناء في النسخ على لوحة المفاتيح صغيرة الحجم التي بهاتفك

المحمول، ربما تكون قادرا على جذب شاشة مرنة بالحجم الذي تريده. هذه التقنية تمكننا أيضا من تصنيع شاشات حاسوب شخصي شفافة تماما. في المستقبل القريب، ربما نحقق في شاشة، ثم نلوح بأيدينا، وفجأة تتحول النافذة إلى شاشة حاسوب شخصي، أو أي صورة نرغب فيها. وربما نحقق في نافذة تبعد عنا بآلاف الأميال.

واليوم، لدينا ورق دشت كتبنا عليه ثم نتخلص منه بعد ذلك. أما في المستقبل، فقد يكون لدينا كمبيوتر دشت ليس له هوية خاصة به. فنكتب عليه ثم نتخلص منه. اليوم نرتب مكتبنا وأثاثنا حول الحاسوب، الذي يهيمن على غرفة المكتب. أما في المستقبل، فربما يختفي الحاسوب المكتبي وتنقل الملفات معنا أينما ذهبنا من مكان إلى آخر، ومن غرفة إلى أخرى، أو من المكتب إلى المنزل. وسوف يقدم لنا هذا معلومات لا تشوبها شائبة، في أي وقت، وفي أي مكان. واليوم في المطارات ترى المئات من المسافرين يحملون حاسباتهم المحمولة. وبمجرد نزولهم في الفندق، يكون عليهم الاتصال بالإنترنت؛ وبمجرد عودتهم إلى منازلهم، يكون عليهم إنزال ملفات على أجهزتهم المكتبية. أما في المستقبل، فلن تحتاج مطلقا لحمل حاسوب معك أينما ذهبت، إذ إنه في كل مكان تذهب إليه، سوف تجد الحوائط، والصور المعلقة، والأثاث يربط بينك وبين الإنترنت، حتى لو كنت داخل قطار أو سيارة. (الحوسبة السحابية Cloud computing التي نحاسب فيها لا على الحواسيب وإنما على زمن استخدامك للحاسوب، والتي تتعامل مع استخدام الحاسوب وكأنه مرفق من المرافق يقاس بعدادات مثل استهلاك المياه والكهرباء، يُعد مثالا مبكرا على هذا).

## العوالم الافتراضية

إن الهدف من تواجد الحاسبات في كل مكان هو إدخال الحاسوب في عالمنا: جعل الرقاقات في كل مكان. والهدف من الواقع الافتراضي Virtual Reality هو العكس: وضعنا داخل عالم الحاسوب. لقد كان الجيش أول من قام بتقديم ما يعرف بالواقع الافتراضي في ستينيات القرن الماضي كوسيلة لتدريب الطيارين والجنود باستخدام عمليات المحاكاة. وكان في استطاعة الطيارين التدريب على الهبوط على سطح حاملة طائرات عن طريق مشاهدة شاشة حاسوب وتحريك ذراع التوجيه المستخدم في ألعاب الفيديو. وفي حالة الحرب النووية، أمكن للجنرالات والزعماء السياسيين المتواجدين في مواقع متباعدة الالتقاء سرا في الفضاء الإلكتروني.

اليوم، بعد أن اتسع نطاق قدرات الحاسوب بصورة هائلة، يمكن للمرء العيش داخل عالم من المحاكاة، حيث يمكنك التحكم في تجسيد ما (صورة متحركة تمثلك). ويمكنك الالتقاء بتجسيديات أخرى، وأن تستكشف العوالم التخيلية، بل والوقوع في الغرام والزواج. يمكنك أيضا شراء أصناف افتراضية بأموال افتراضية يمكن فيما بعد تحويلها إلى أموال حقيقية. ومن أشهر المواقع على النت، واسمه (الحياة الأخرى) Second Life، سجل 16 مليون حساب بحلول عام 2009. وفي ذلك العام، ربح العديد من الأشخاص أكثر من مليون دولار سنويا باستخدام موقع الحياة الأخرى. (إلا أن الربح الذي تحققه خاضع للمحاسبة ضريبيا من قبل الحكومة الأمريكية، التي تعتبره دخلاً حقيقياً).

صار الواقع الافتراضي بالفعل عصب ألعاب الفيديو. وفي المستقبل ومع

استمرار قدرات الحاسوب في التوسع، من خلال نظارتك أو شاشتك الحائطية، سوف تكون قادراً أيضاً على زيارة العوالم غير الواقعية. على سبيل المثال، إذا رغبت في الذهاب للتسوق أو زيارة مكان غريب، فقد تقوم بذلك أولاً من خلال الواقع الافتراضي، فتبحر عبر شاشة الحاسوب كما لو كنت هناك بالفعل. وبهذه الطريقة، سوف تتمكن من السير على القمر، أو تمضي أجازة على سطح المريخ، أو تسوق من بلدان بعيدة، أو تزور أي متحف، أو تقرر لنفسك إلى أين تريد الذهاب.

سوف تملك القدرة إلى حد ما على الشعور بالأشياء ولمسها في هذا العالم الإلكتروني. هذا ما يطلق عليه اسم (التكنولوجيا اللمسية) Haptic Technology، وهي تتيح لك الإحساس بوجود الأشياء التي يولدها الحاسوب. لقد ابتكرت هذه التقنية في البداية على يد العلماء الذين أرادوا التعامل مع المواد ذات النشاط الإشعاعي العالي باستخدام أذرع روبوتية يتم التحكم فيها عن بعد، وكذلك الجيش الذي كان يرغب في أن يشعر طياروه بمقاومة ذراع التحكم في محاكي الطيران.

ولمحاكاة الإحساس باللمس صنع العلماء جهازاً متصلاً ببيات وتروس، بحيث يمكنك دفع أصابعك للأمام على الجهاز، فيقاوم دفعك، فيحاكي ذلك الإحساس بالضغط. وبينما أنت تحرك أصابعك على سطح منضدة مثلاً، يمكن لهذا الجهاز محاكاة الإحساس بلمس السطح الخشبي الجامد. وبهذه الطريقة، يمكنك استشعار وجود الأشياء التي تشاهد في نظارات الرؤية المجسمة ذات الواقع الافتراضي، فتكمل عملية تخيل وجودك في مكان آخر.

ولخلق الإحساس. بلمس الأشياء، هناك جهاز آخر يسمح لأصابعك بالمرور عبر سطح يحوي الآلاف من الدبابيس دقيقة الحجم. وأثناء حركة أصابعك، يتم التحكم في ارتفاع كل دبوس عن طريق حاسب آلي، بحيث يمكنه محاكاة ملمس سطح صلب أو الأقمشة المخملية أو ورقة صنفرة خشنة. وفي المستقبل، وعن طريق ارتداء قفازات خاصة، قد يكون من الممكن منح إحساس واقعي. بلمس مختلف الأجسام والأسطح.

وسوف يكون ذلك أمراً جوهرياً بالنسبة للجراحين مستقبلاً، إذ يتعين على الجراح أن يكون قادراً على الإحساس باللمس عند أدائه لجراحة دقيقة، وقد يكون المريض عبارة عن صورة مجسمة ثلاثية الأبعاد. ويأخذنا هذا أيضاً إلى إلقاء نظرة عن كثب على السطح المجسم الذي عرضه مسلسل Star Trek، حيث تتجول في عالم افتراضي وتتمكن من ملامسة أجسام افتراضية. وبينما تتجول في أنحاء غرفة خالية، يمكنك رؤية أجسام خيالية في نظارتك أو عدستك اللاصقة. وبينما تمد يدك وتمسك بها، يرتفع جهاز لمسي على الأرض ويحاكي الجسم الذي تلامسه.

لقد سنحت لي الفرصة لكي أشهد تلك التقنيات وهي تظهر لأول مرة عندما قمت بزيارة لـ CAVE (وهي الحروف الأولى من كلمات عبارة معناها بيئة الكهف الافتراضية الآلية) بجامعة روان Rowan بنيو جيرسي New Jersey لصالح قناة (ساينس). لقد دخلت غرفة خالية، حيث أصبحت محاطاً بأربعة جدران، كل جدار منها مضاء ببروجكتور. وأصبح في الإمكان عرض صور ثلاثية الأبعاد مضيئة على الجدران، مما أعطى الرائي إحساساً وهمياً بأنه قد انتقل إلى دنيا أخرى. وفي واحد من هذه العروض، صرت



محاطا بديناصورات عملاقة شديدة الضراوة. وبتحريك عصا التحكم، أمكنني امتطاء ظهر التيرانوصورس ركس Tyrannosaurus rex، بل وحتى الدخول إلى فمه مباشرة. ثم زرت بعد ذلك أرض برهان أبردين. بميريلاند، حيث صمم الجيش الأمريكي أحدث نسخة متقدمة من السطح المجسم (الهولودك). لقد وضعت أجهزة استشعار فوق خوذتي وحقيبة الظهر (الجربندية). وبهذا صار الحاسوب يعلم بدقة موقع جسدي. ثم سرت بعد ذلك فوق مشاية متعددة الاتجاهات، وهي مشاية معقدة التصميم تسمح لك بالسير في أي اتجاه رغم أنك لم تغادر مكانك. وفجأة صرت وسط ميدان معركة، أحاول الإفلات من رصاصات قناصة العدو. وكان في استطاعتي العدو في أي اتجاه، والاختباء في أي زقاق، أو العدو بأقصى سرعتي في أي شارع، وكانت الصور على الشاشة تتغير على الفور. بل كان في مقدوري الانبطاح أرضا، وتغيير المناظر على الشاشة تبعا لذلك. وصار في استطاعتي أن أتخيل أنه في المستقبل سوف يمكنك تجربة الغمر الكامل، على سبيل المثال، الدخول في معارك مع سفن فضائية تحمل كائنات من كواكب أخرى، أو الهروب من وحوش هائجة، أو حضور حفل سمر فوق جزيرة مهجورة، كل هذا وأنت جالس في راحة ورفاهية داخل غرفة معيشتك.

## الرعاية الطبية في المستقبل القريب

سوف تتغير تماما أساليب زيارة عيادة الطبيب. ففي الفحص الدوري، عندما تتحدث إلى (الطبيب)، ربما يكون عبارة عن برنامج حاسوب آلي يظهر لك على شاشتك الحائطية يمكنه أن يشخص تشخيصا صحيحا ما

يصل إلى 95 % من جميع العلل الشائعة. وقد يبدو (طبيبك) على هيئة شخص، لكنه في واقع الأمر سوف يكون صورة متحركة مبرمجة بحيث تسأل أسئلة بسيطة. كذلك سوف يكون لدى (طبيبك) سجل كامل لجيناتك، وسوف يصف لك علاجات طبية تأخذ في حسابها جميع عوامل الخطر الوراثية التي لديك.

ولتشخيص المشكلة، سوف يطلب منك (الطبيب) إمرار مسير بسيط فوق سائر جسمك. في مسلسل Star Trek الأصلي، دهش الجمهور عندما رأوا جهازاً اسمه الترايكورد ويمكنه على الفور تشخيص أي حالة مرضية ويمكنه سبر غور الجسم من الداخل. لكننا لسنا مضطرين للانتظار إلى القرن الثالث والعشرين حتى يظهر هذا الجهاز المستقبلي. فأجهزة الرنين المغناطيسي بالفعل يصل وزنها إلى عدة أطنان ويمكن أن تشغل حيز غرفة بأكملها، تم تصغيرها إلى مساحة تبلغ حوالي قدم واحدة، وسوف يصغر حجمها في نهاية الأمر لتصبح في صغر حجم الهاتف المحمول. وبإمرار الواحد منها فوق جسدك، سوف تتمكن من رؤية ما بداخل أحشائك. وسوف تقوم الحاسبات بمعالجة تلك الصور ثلاثية الأبعاد ثم تقدم لك التشخيص. وسوف يكون هذا المسير أيضاً قادراً على اكتشاف، في خلال بضع دقائق، وجود مجموعة متنوعة من الأمراض، من بينها السرطان، قبل سنوات من تكون الورم. وسوف يحتوي هذا المسير على رقاقات دي إن آيه، وهى رقاقات من السليكون بها ملايين المستشعرات الدقيقة التي يمكنها اكتشاف وجود دي إن آيه دال على العديد من الأمراض.

وبطبيعة الحال، فإن كثيراً من الناس يكرهون زيارة الطبيب. لكن في

المستقبل، سوف تتم مراقبة حالتك الصحية في صمت ودون جهد عدة مرات في اليوم الواحد دون أن تعلم. فمرحاضك، ومرآة حمامك، وملابسك سوف تكون بها رقاقات دي إن آيه تحدد في صمت إن كانت مستعمرات البكتيريا في أمعائك ليست مكونة سوى من بضع مئات من الخلايا النامية داخل جسمك. سوف تكون هناك مستشعرات مخبأة دخل حمامك وملابسك أكثر مما يمكن أن تجده في مستشفى حديث أو جامعة اليوم. مثال لذلك أنه بمجرد النفخ على مرآة، يمكن اكتشاف دي إن آيه بروتين متحول يسمى P53، وهو موجود في نسبة 50 % من جميع السرطانات الشائعة. ومعنى هذا أن كلمة ورم سوف تختفي تدريجياً من قاموس اللغة.

واليوم، إذا أصبت في حادث سيارة سيئ على طريق مهجور، فإنك من الممكن بسهولة أن تنزف حتى الموت. لكن في المستقبل، سوف تكون ملابسك وسيارتك جاهزة آلياً للتصرف السريع لدى أولى علامات حدوث إصابة بدنية، فتطلب سيارة الإسعاف، وتحدد موقع سيارتك، وترفع إلى شبكة الإنترنت بيانات سجلك الطبي بأكمله، كل هذا وأنت غائب عن الوعي. في المستقبل، سوف يكون من الصعب أن تموت وحيداً. فملابسك سوف تكون قادرة على الإحساس بأي اضطرابات في ضربات قلبك، ومعدل تنفسك، بل وحتى موجات المخ بواسطة رقاقات دقيقة الحجم مخيطة داخل نسيج ملابسك. فعندما ترتدي ملابسك، تصبح متصلاً بالإنترنت.

واليوم، من الممكن وضع رقاقة داخل حبة دواء في حجم الإسبرينة، كاملة بكاميرا تلفزيونية ورايو. وعندما تبتلعها، تلتقط (الحبة الذكية)

صوراً تلفزيونية لمريضك وأمعائك، ثم تبث إشارات إلى جهاز استقبال قريب. (وهذا يعطي معنىً جديداً لشعار (إنتل بالداخل). وبهذه الطريقة، قد يصبح الأطباء قادرين على التقاط صور لأمعاء المريض واكتشاف السرطانات دون إجراء منظار القولون على الإطلاق (وهو أسلوب يسبب الضيق للمريض بغرس أنبوب طوله ست أقدام داخل أمعائه الغليظة). إن أجهزة ميكروسكوبية مثل هذه تقلل بالتدريج من ضرورة قطع الجلد لإجراء جراحة.

هذه ليست سوى عينة من الكيفية التي ستؤثر بها ثورة الحاسوب على صحتنا. وسوف نناقش في الفصلين الثالث والرابع بمزيد من التفصيل الثورة في مجال الطب، حيث سنبحث أيضاً موضوع العلاج بالجينات، والاستنساخ، وتغيير طول عمر الإنسان.

## الحياة داخل قصة خيالية

لما كان ذكاء الحاسوب سيصير بهذا الرخص والانتشار في البيئة، فقد علق بعض المتنبئين بالمستقبل قائلين إن المستقبل قد يصبح أشبه بقصة خيالية. إذا امتلكننا قدرات الآلهة، فإن السماء التي سنسكنها سوف تبدو أشبه بعالم خيالي. فمستقبل الإنترنت، على سبيل المثال، يمكن أن يصبح مثل المرأة السحرية في قصة (بياض الثلج)<sup>(1)</sup> Snow White. فسوف

(1) بياض الثلج Snow White: شخصية شهيرة ارتبط اسمها باسم قصة أوروبية ألمانية الأصل (Schneewittchen) والتي تعني ندف الثلج بالألماني. تحظى القصة بشهرة عالمية حيث أنتجت بناءً عليها العديد من الأفلام وقصص الأطفال والرسوم المتحركة والتي كان من أشهرها بياض الثلج والأقزام السبعة (سنو وايت)، إنتاج شركة ديزني عام 1937. (المترجم)

نقول: (مرآتي يا مرآتي)، فيخرج لنا وجه بشوش، فيسمح لنا بالدخول على حكمة الكوكب. سوف نضع الرقاقات داخل ألعابنا، فنجعلها ذكية، مثل بينوكيو Pinocchio، الدمية التي أرادت أن تصير ولدا حقيقيا. ومثل بوكاهونتاس Pocahontas، سوف نتحدث إلى الرياح والأشجار، وسوف تجيبنا. سوف نفترض أن الأشياء ذكية وأن في استطاعتنا التحدث معها. ولما كانت الحاسبات ستصير قادرة على تحديد مواقع الكثير من الجينات المتحكمة في عملية الشيخوخة، فقد نظل في شباب دائم مثل بيتر بان<sup>(1)</sup> Peter Pan. سوف نكون قادرين على الإبطاء من زحف الشيخوخة، وربما الاتجاه نحو الشباب، مثل الصبية في (أرض الخيال) الذين لم يكونوا يريدون أن يشبوا عن الطوق. إن الواقع المتضخم سوف يمنحنا إحساسا خياليا بأننا مثل سندريلا، يمكننا امتطاء الكرات الخيالية في عربة ملكية والرقص في رقة مع أمير وسيم. (لكن عند منتصف الليل، تنطفئ نظارات واقعنا المتضخم ونعود إلى عالم الواقع). ولما كانت الحاسبات تكشف عن الجينات التي تتحكم في أجسادنا، فسوف نصبح قادرين على إعادة تصميم هندسة أجسامنا، واستبدال الأعضاء وتغيير مظهرنا، حتى على المستوى الجيني، مثل الوحش في قصة (الجميلة والوحش) Beauty and the Beast.

بل إن بعض المتنبئين بالمستقبل أعربوا عن خشيتهم من أن يؤدي هذا إلى

(1) بيتر بان Peter Pan: شخصية خيالية ابتكرها جيمس باري J. M. Barrie، وهو فتى يهرب من والديه إلى جزيرة نيفرلاند التي لا يكر فيها أحد، بعدما سمع والداه يتحدثان عن مستقبله وما سيصبح عليه عندما يكر. (الترجم)

العودة للنزوع إلى الاعتقاد في السحر الذي ساد العصور الوسطى، عندما كان أغلب الناس يعتقدون أن هناك أرواحا غير مرئية تسكن كل مكان من حولهم.

## منتصف القرن (2030 إلى 2070)

### نهاية قانون مور

علينا أن نتساءل: كم ستطول مدة هذه الثورة في عالم الحاسوب؟ لو ظل قانون مور صحيحا لخمسین عاما أخرى، فمن المفهوم أن الحاسبات سوف تتجاوز سريعا القدرة الحسائية للمخ البشري. وبحلول منتصف القرن، سيقع عامل محرك جديد. ومثلما قال جورج هاريسون George Harrison ذات يوم: (كل الأمور حتما إلى زوال). حتى قانون مور لا بد له من أن ينتهي، ومعه تزول تلك النهضة الرائعة للحاسوب التي غدت النمو الاقتصادي طيلة نصف قرن.

واليوم، صرنا نرى هذا أمرا مسلما به، والحقيقة أننا نؤمن بأنه حق مكتسب لنا منذ مولدنا، أن تكون منتجات الحاسوب ذات قوة وتعقيد آخذين في الازدياد على الدوام. ولهذا نشترى كل عام منتجات حاسوب جديدة، لعلنا بأن قدرتها تبلغ تقريبا ضعفي قدرة طرز العام السابق. غير أنه إذا انهار قانون مور - وصار كل جيل من منتجات الحاسوب له بالتقريب نفس قدرة الجيل السابق - فلماذا نكلف أنفسنا ونشترى حاسبات جديدة؟

لما كانت الرقاقات توضع في شتى المنتجات على تنوعها، فإن هذا من الممكن أن يجلب آثارا كارثية على سائر الاقتصاد. فمع توقف نمو شتى المجالات الصناعية، سيفقد الملايين وظائفهم، وقد يتعرض الاقتصاد برمته للاضطراب.

منذ سنوات مضت، عندما أشرنا نحن المتخصصون في علم الفيزياء إلى الانهيار الحتمي لقانون مور، كان الرد التقليدي من جانب أهل تلك الصناعة أنهم سخفوا من مزاعمنا، قائلين ما معناه أننا أشبه بالغراب النوحى الذي يحذر من خطر كاذب، مثل الراعى الذي أخذ يصيح ذئب ذئب. لقد جرى التنبؤ بنهاية قانون مور عدة مرات من قبل، على حد زعمهم، حتى إنهم بكل بساطة لم يعودوا يصدقون هذا الأمر. لكن لم يعد هذا الأمر يحدث.

فمنذ عامين، كنت أحد المحاضرين الرئيسيين في مؤتمر كبير عقدته مايكروسوفت Microsoft في مقرها الرئيس في سياتل، واشنطن. كان من بين الحاضرين ثلاثة آلاف من كبار مهندسي مايكروسوفت، منتظرين سماع ما سأقوله عن مستقبل الحاسبات والاتصالات. وبينما أنا أحدق في الحشد الهائل، أمكنني أن أرى وجوه أولئك المهندسين الشبان الممثلين حماسة الذين سيصنعون برامج تشغل حاسباتنا القابعة فوق أسطح مكاتبنا وفي حجورنا. كنت فظا في حديثي عن قانون مور، فقلت إن على الصناعة أن تستعد لهذا الانهيار. قبل عقد واحد من ذلك التاريخ، كان من الممكن أن أقابل بالضحك الساخر وربما ببعض صيحات الاستهجان البذيء. لكن في هذه المرة لم أشاهد سوى أناس تهز رأسها بالإيجاب.

إذن انهيار قانون مور أمر ذو أهمية دولية، يهدد بضياع تريليونات الدولارات. لكن كيف سينتهي على وجه التحديد، وما البديل له، هذا يتوقف على قوانين الفيزياء. والإجابات عن تلك التساؤلات الفيزيائية سوف تهز في نهاية الأمر البنيان الاقتصادي للرأسمالية.



وحتى نفهم هذا الوضع، من المهم أن ندرك أن النجاح الباهر لثورة الحاسبات يقوم على عدة مبادئ فيزيائية. أولها، أن الحاسبات تملك سرعة خرافية لأن الإشارات الكهربائية تسير بسرعة تناهز سرعة الضوء، وهي أعلى سرعة في الكون. ففي الثانية الواحدة يمكن لشعاع الضوء أن يدور حول العالم سبع مرات أو يصل إلى القمر. وتتحرك الإلكترونات أيضاً بسهولة في الأنحاء، وهي متصلة اتصالاً هشاً بذراتها (ويمكن كشطها من عليها بمجرد تمشيط شعرك، أو السير فوق البساط، أو تشغيل الغسالة؛ لهذا نشعر بالكهرباء الاستاتيكية). واجتماع الإلكترونات هشة الارتباط مع سرعتها الهائلة يتيح لنا إرسال إشارات كهربائية بسرعة تخطف الأبصار، وهذا ما صنع الثورة الكهربائية خلال القرن الماضي.

وثانيها، أنه في الواقع لا يوجد حد لمقدار المعلومات التي يمكنك وضعها فوق شعاع ليزر. فالموجات الضوئية، لكون ذبذباتها أسرع كثيراً من ذبذبات الموجات الصوتية، يمكنها حمل معلومات أكثر بكثير مما يحمل الصوت. (على سبيل المثال، جرب أن تشد قطعة طويلة من الحبال ثم تهز أحد طرفيها بسرعة. كلما زادت سرعة ذبذبة أحد الطرفين، زاد عدد الإشارات التي يمكنك إرسالها عبر الحبل. ومن هنا، فإن مقدار المعلومات التي يمكنك حشدها في موجة ما يزداد كلما زادت سرعة ذبذبتها، أي ترددها). الضوء موجة تهتز بمعدل  $10^{14}$  لفة تقريباً في الثانية (أي واحد وبعجوارها 14 صفراً). وهو يحتاج لعدة لفات كي ينقل معلومة واحدة بحجم بت Bit (أي إما 1 وإما صفر). ومعنى هذا، أن كابل الألياف البصرية يمكنه نقل ما يقرب من  $10^{11}$  بت من المعلومات في التردد الواحد.

ويمكن زيادة هذا العدد بحشد العديد من الإشارات في ليفة بصرية واحدة ثم جعل تلك الألياف تشكل حزمة في كابل. وهذا معناه أنه عن طريق زيادة عدد القنوات داخل كابل ما ثم زيادة عدد الكابلات، يمكننا نقل المعلومات بلا حدود تقريباً.

وثالثها، وأهمها، أن ما يقود ثورة الحاسبات هو عملية تصغير أحجام الترانزستورات. فالترانزستور عبارة عن بوابة، أو مفتاح تحكم، يتحكم في سريان الكهرباء. إذا قورنت الدائرة الكهربائية بمجال السباكة مثلاً، فإن الترانزستور يصبح أشبه بصمام أو محبس يتحكم في جريان الماء. وبالطريقة ذاتها التي يمكن بلفة بسيطة للمحبس التحكم في جريان كمية كبيرة من الماء، يسمح الترانزستور لسريان ضئيل من الكهرباء بالتحكم في جريان أعظم بكثير، ومن ثم يضخم من قدرتها.

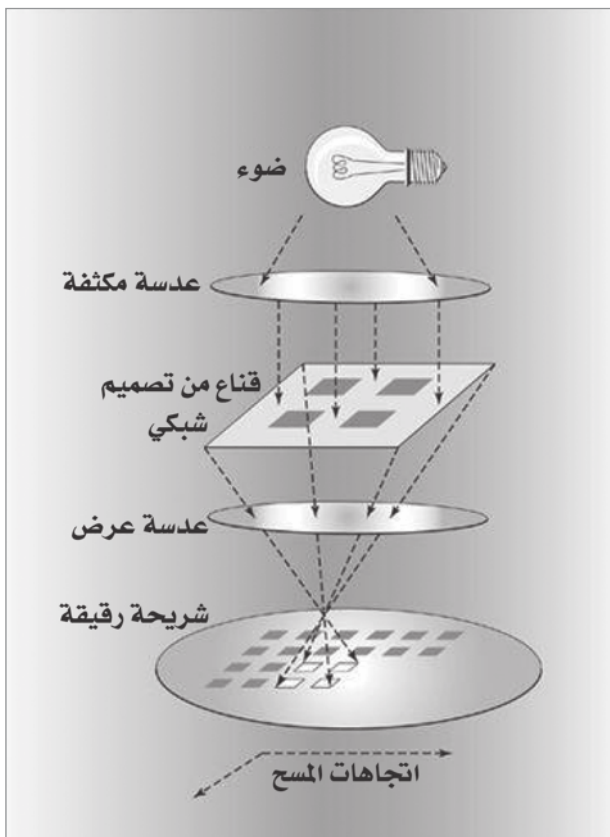
ويقع في مركز القلب من هذه الثورة رقاقة الحاسوب، التي يمكنها احتواء مئات الملايين من الترانزستورات فوق طبقة رقيقة من السليكون في حجم ظفرك. وداخل جهاز الحاسب المحمول خاصتك هناك رقاقة لا يمكن رؤية ترانزستوراتها إلا تحت المجهر. تلك الترانزستورات بالغة الضآلة إلى حد لا يصدق عقل صنعت بنفس طريقة عمل تصميمات (التي شيرتات). فتصميمات (التي شيرتات) تنتج بالجملة أولاً عن طريق عمل استنسل stencil (رسم مفرغ) يحدد الخطوط العامة للشكل الذي نود رسمه. ثم يوضع الاستنسل فوق القماش، ويرش فوقه الطلاء. فالطلاء لا يخترق القماش سوى عند الأماكن المفرغة من الاستنسل. وبمجرد رفع الاستنسل، نجد نسخة متقنة من أشكال قد رسمت على (التي شيرت).

وبالطريقة ذاتها، يتم عمل رسم مفرغ يحتوي على الخطوط العامة المتداخلة لملايين الترانزستورات. ويوضع هذا الرسم فوق الشريحة الرقيقة التي تحوي عدة طبقات من السليكون الحساس للضوء. ثم يتم بعد ذلك توجيه أشعة فوق بنفسجية بدقة على الاستنسل، فتخترق الفتحات الموجودة به فتكشف الشريحة الرقيقة من السليكون.

بعدها يتم غمر الشريحة في حامض، ينحت حدود الدوائر ويصنع التصميم المعقد المتشابه لملايين الترانزستورات. ولما كانت الشريحة الرقيقة مكونة من العديد من الطبقات الموصلة وشبه الموصلة، فإن الحامض يخترق الشريحة بأعماق وأشكال متباينة، وبهذا يمكن صنع دوائر ذات تعقيد رهيب.

ومن الأسباب التي جعلت قانون مور يزيد بلا هوادة في قدرة الرقاقات أن الأشعة فوق البنفسجية يمكن ضبط ترددها بحيث يصغر طولها الموجي أكثر وأكثر، مما يمكننا من حفر ترانزستورات بالغة الدقة على شرائح السليكون. ولما كان الطول الموجي للأشعة البنفسجية يصل إلى 10 نانومتر (النانومتر واحد على بليون من المتر)، فإن معنى هذا أن أصغر ترانزستور يمكنك حفره عرضه حوالي ثلاثون ذرة.

غير أن هذه العملية لا يمكن أن تستمر إلى الأبد. فعند نقطة ما، سوف يصبح من المستحيل من الناحية الفيزيائية حفر ترانزستورات بهذه الطريقة التي تعتمد على حجم الذرات. بل إن في مقدورك أن تحسب بالتقريب متى سينهار قانون مور في نهاية الأمر: عندما تصل في النهاية إلى ترانزستورات الواحد منها بحجم الذرة الواحدة.



نهاية قانون مور. تصنع الرفاقات بنفس طريقة عمل تصميمات رسوم (التي شيرتات). وبدلاً من رش طلاء فوق رسم مفرغ، يتم تسليط الأشعة فوق البنفسجية على رسم مفرغ، يحرق صورة على طبقات السليكون. ثم تقوم الأحماض بعد ذلك بنحت الصورة، فتصنع مئات الملايين من الترانزستورات. غير أن هناك حداً لتلك العملية عندما نصل إلى المقياس الذري. فهل سيصبح وادي السليكون حزاماً صدناً؟

حوالي عام 2020 أو بعده، سوف يتوقف قانون مور تدريجياً عن العمل ويتحول وادي السليكون ببطء إلى حزام صديء ما لم نعتز على تقنية بديلة. وطبقاً لقوانين الفيزياء، سوف يصل عصر السليكون في نهاية الأمر إلى نهايته، مع دخولنا حقبة ما بعد السليكون. سوف تصبح الترانزستورات من الصغر بحيث تسيطر نظرية الكم أو الفيزياء الذرية على زمام الأمور وتتسرب الإلكترونات من الأسلاك. فمثلاً، سوف تكون أرق طبقة داخل حاسوبك بعرض حوالي خمس ذرات. وعند هذه النقطة، ووفق قانون الفيزياء، تتولى نظرية الكم مقاليد الأمور. وتنص قاعدة (هايزنبرج) Heisenberg لانعدام اليقين على أنه ليس في استطاعتك معرفة كل من موقع وسرعة أي جسيم. وقد يبدو هذا الأمر مناقضاً للبديهية، لكن على المستوى الذري لا يمكنك ببساطة معرفة موقع أي إلكترون، لهذا لا يمكنك أبداً أن تكون محددًا بدقة داخل سلك أو طبقة فائقي الرقة، ومن المحتمل أنه سيتسرب للخارج، مما يتسبب في ماس كهربائي داخل الدائرة.

وسوف نناقش هذا الأمر في الفصل الرابع. بمزيد من التفصيل، عندما نقوم بتحليل النانوتكنولوجي. أما خلال بقية هذا الفصل، فسوف نفترض أن علماء الفيزياء توصلوا إلى خليفة لقوة السليكون، لكن قدرات الحاسوب سوف تنمو بمعدلات أبطأ من ذي قبل. والأرجح أن الحاسبات سوف تواصل النمو بمعامل أسي، لكن زمن مضاعفة القدرة سيتحول من ثمانية عشر شهراً إلى عدة سنوات.

## خلط الواقع الحقيقي بالواقع الافتراضي

بحلول منتصف القرن، من المؤكد أننا سنعيش جميعاً وسط خليط من الواقع الحقيقي والواقع الافتراضي. فمن خلال عدساتنا اللاصقة أو نظاراتنا، سوف نشاهد في آن واحد صوراً افتراضية مركبة على عالم الواقع. هذه هي رؤية ساسومو تاشي Susumu Tachi الأستاذ بجامعة كيو University Keio باليابان وكثيرين غيره. إنه يصمم حالياً نظارات خاصة ثلاثية الأبعاد تمزج بين الخيال والواقع. وكان مشروعه الأول جعل الأشياء تتلاشى داخل هواء رقيق. لقد زرت بروفيسور تاشي في طوكيو وشاهدت بعضاً من تجاربه الرائعة في خلط الواقع الحقيقي بالواقع الافتراضي. من بين تطبيقاته البسيطة جعل جسم ما يختفي (على الأقل من خلال نظارتك). في البداية، ارتديت معطفاً خاصاً للمطر لونه بني فاتح. وعندما فردت ذراعي، صار يشبه شراعاً كبيراً. ثم سلطت كاميراً على معطف المطر الذي أرتديه وقامت كاميرا أخرى بتصوير المشهد الذي ورائي، والذي كان يتكون من حافلات وسيارات تتحرك على الطريق. وبعدها برفة، قام حاسوب بدمج هاتين الصورتين معاً، وبهذا ومضت الصورة التي خلفي على معطفي، كما لو كانت تظهر على شاشة. فإذا حددت في عدسة خاصة، لوجدت جسمي قد اختفى، فلا يتبقى سوى صور السيارات والحافلات. ولما كان رأسي يعلو المعطف، فقد بدا المشهد كما لو كان رأسي سابحاً في الجو، دون جسد، مثل هاري بوتر<sup>(1)</sup> Harry

(1) سلسلة هاري بوتر Harry Potter: سلسلة من سبعة كتب للكاتبة البريطانية جيه. كي. رولنج J. K. Rowling؛ تحكي حكاية الصبي الساحر هاري بوتر، منذ اكتشافه لحقيقة كونه ساحراً، وحتى بلوغه سن السابعة عشرة، فتكشف ماضيه، وعلاقاته السحرية، وسعيه للقضاء على سيد الظلام لورد فولدمورت. وترافق سلسلة الكتب سلسلة من سبعة أفلام تحمل نفس عناوين الكتب. (المترجم)

Potter وهو يرتدي معطف الاختفاء عن الأنظار.

بعدها عرض بروفيسور تاشي عليّ بعض النظارات الخاصة. عندما ارتديتها، أمكنني مشاهدة الأشياء الحقيقية ثم جعلها تختفي. هذا ليس إخفاءً حقيقياً عن الأنظار، إذ إنه لا ينجح إلا عند ارتداء نظارات خاصة تمزج بين صورتين. لكنه مع ذلك جزء من برنامج كبير للبروفيسور تاشي، الذي يطلق عليه أحيانا (الواقع المضخم) augmented reality.

بحلول منتصف القرن، سوف نعيش وسط عالم إلكتروني يؤدي وظائفه على أكمل وجه يدمج عالم الواقع بصور مأخوذة من الحاسوب. وقد يغير هذا تغييراً جذرياً في أماكن عملنا، وتجارنا، ووسائلنا الترفيهية، وأسلوب حياتنا. وربما كانت للواقع المضخم عواقب فورية تلقي بظلالها على السوق. أول تطبيق تجاري أن تجعل الأشياء غير مرئية، أو تجعل غير المرئي يظهر للعيان.

مثال على ذلك، إذا كنت سائق سيارة أو طياراً، فسوف تكون قادراً على مشاهدة ما حولك بزاوية 360 درجة، بل وحتى ما هو أسفل قدميك، لأن نظارتك أو عدستك تتيح لك الرؤية من خلال جدران طائرتك أو سيارتك. وسوف يلغي هذا البقع العمياء المسؤولة عن عشرات الحوادث وحالات الوفاة. وفي المعارك الجوية، سوف يكون قائدو الطائرات النفاثة قادرين على تتبع طائرات العدو أينما حلقت، حتى لو كانت أسفل طائرتهم، كما لو كانت طائرتهم هم شفافة. سوف يكون السائقون قادرين على الرؤية في جميع الاتجاهات، إذ ستعمل كاميرات دقيقة الحجم على مراقبة ما يحيط بهم بزاوية 360 درجة وبث الصور على عدساتهم اللاصقة.

إذا كنت رائد فضاء تجري إصلاحات خارج سفيتتك الفضائية، فسوف تجد هذا الأمر مفيدا أيضا، إذ سيصبح في مقدورك الرؤية من خلال الجدران، والحواجز، وهيكل السفينة. قد يكون هذا بمثابة إنقاذ للأرواح. إذا كنت عامل إنشاءات تجري إصلاحات تحت الأرض، وسط خضم من الأسلاك، والمواسير، والصمامات، فسوف تعلم على وجه الدقة كيفية اتصالها جميعا ببعضها بعضا. وقد يكون هذا الأمر جوهريا في حالة وجود انفجار غاز أو بخار، وعندما يتعين إصلاح المواسير المختبئة خلف الجدران وإعادة توصيلها سريعا.

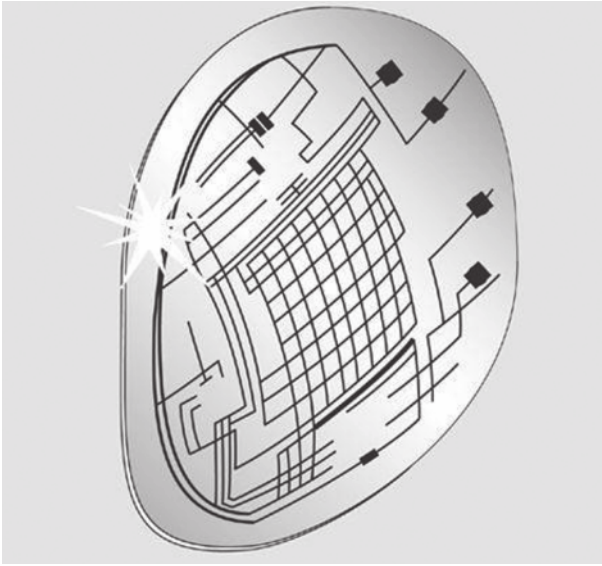
وبالمثل، إذا كنت جيولوجيا، فسوف تكون قادرا على الرؤية من خلال التربة، لترى تراكمات الماء أو النفط تحت الأرض. ويمكن تحليل الصور الفوتوغرافية الملتقطة بواسطة الأقمار الصناعية والطائرات لميدان ما باستخدام الأشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية ثم إمداد عدساتك اللاصقة بها، فيزدك ذلك بتحليل ثلاثي الأبعاد للموقع وما يوجد تحت السطح. وبينما تسير عبر أرض قاحلة، سوف (ترى) الركاز المعدني الثمين من خلال عدستك.

وعلاوة على جعل الأشياء غير مرئية، سوف تكون قادرا أيضا على فعل العكس: أي جعل غير المرئي مرئيا.

إذا كنت مهندسا معماريا، فسوف تكون قادرا على السير في أنحاء غرفة خالية ثم فجأة (ترى) صورة ثلاثية الأبعاد للمبنى الذي تقوم بتصميمه. فالتصميمات التي ستضعها على مخططك المعماري سوف تقفز أمامك وأنت تتجول في أنحاء كل غرفة. سوف تنبض كل الغرف الخالية بالحياة



فجأة، بأثاثها، وسجاجيدها، والديكورات التي على الجدران، مما يتيح لك تخيل إبداعك مجسماً قبل بنائه الفعلي. إذ بمجرد تحريك ذراعيك، سوف تكون قادراً على خلق غرف جديدة وجدران وأثاث. في هذا العالم المضخم، سوف تملك قدرات السحرة، فتلوح بعصاك السحرية وتصنع الشيء الذي تريده.



سوف نتعرف عدسات الإنترنت اللاصقة على وجوه الناس، وتعرض سيرهم الذاتية، وتترجم كلماتهم في عبارات تظهر أسفل الشاشة مثل ترجمة الأفلام. وسوف يستعين بها السائحون في إعادة إحياء الآثار القديمة. كما سيستعين بها الفنانون والمعماريون في التعامل مع إبداعاتهم الافتراضية وإعادة تشكيلها من جديد. إن الاحتمالات المتاحة أمام الواقع المضخم لا حدود لها.

## الواقع المضخم: ثورة في السياحة والفنون والتسوق والعمليات الحربية

كما ترون، فإن التطبيقات في مجالات التجارة والعمل من المتوقع أن تكون هائلة. فكل عمل تقريباً سوف يثرى من خلال الواقع المضخم. وعلاوة على ذلك، فإن حياتنا، ووسائلنا الترفيهية، ومجتمعنا سوف ترتقي كثيراً من خلال هذه التقنية.

مثال لذلك، أن سائحاً يسير في أحد المتاحف يمكنه الانتقال من معرض إلى آخر بينما تقدم له عدساته اللاصقة وصفاً لكل شيء؛ سوف يقدم لك مرشد افتراضي جولة إلكترونية أثناء مرورك عليه. وإذا كنت في زيارة لأطلال قديمة، فسوف تكون قادراً على (رؤية إعادة بناء مكتملة للمباني والآثار بمجدها التام، بجانب روايات تاريخية عنها. فبقايا الإمبراطورية الرومانية، بدلاً من أن تشاهدها على هيئة أعمدة محطمة مكسوة بالأعشاب، سوف تعود مرة أخرى فجأة إلى الحياة وأنت تتجول وسطها، تامة مع التعليق والملاحظات.

لقد اتخذ معهد بكين للتكنولوجيا Beijing Institute of Technology بالفعل أولى الخطوات المبكرة في هذا الاتجاه. ففي الفضاء الإلكتروني، أعاد المعهد بناء حديقة الحدائق (أو حديقة الإشراف التام) Garden of Perfect Brightness، التي دمرتها القوات البريطانية - الفرنسية أثناء حرب الأفيون الثانية عام 1860.<sup>(1)</sup> واليوم، لم يبقَ من الحديقة الأسطورية

(1) حدائق صينية بنيت في القرن الثامن عشر وبداية القرن التاسع عشر أقام فيها أباطرة أسرة كينج وأداروا شؤون الحكم، وتعرضت للدمار على يد القوات الفرنسية والبريطانية في حرب الأفيون الثانية وعدت بذلك رمزاً للعدوان والغار في الصين. (المترجم)

سوى حطام خلفته الجيوش الغازية. لكنك إذا شاهدت الأطلال من خلال منصة مشاهدة خاصة، فسوف ترى الحديقة بالكامل أمامك بكل بهائها وروعها. وفي المستقبل، سوف يصبح هذا الأمر عاديا.

كما ظهر نظام أكثر تقدما من هذا على يد المبتكر (نيكولاس نيكي) Nikolas Neecke، الذي صنع جولة على الأقدام لبازل، سويسرا. فعندما تمشي في أنحاء شوارعها القديمة، ترى صوراً للمباني العتيقة بل وللناس مركبة فوق الحاضر، كما لو كنت مسافرا عبر الزمن. ويحدد الحاسوب موقعك ثم يعرض عليك صور المشاهد القديمة من خلال نظارتك، كما لو كنت قد انتقلت إلى العصور الوسطى. واليوم، عليك أن ترتدي نظارات ضخمة وجربندية ثقيلة مليئة بمعدات إلكترونية لنظام GPS وحاسبات. وغدا، سوف تمتلك هذا داخل عدستك اللاصقة.

إذا كنت تقود سيارة في أرض أجنبية، فإن جميع العدادات سوف تظهر لك من خلال عدستك اللاصقة باللغة التي تريدها، وبهذا لن تضطر مطلقا لإلقاء نظرة عليها كي تشاهدها. سوف تشاهد كل اللافتات على امتداد الطريق مصحوبة بشروح لأي شيء قريب منها، مثل المشاهد السياحية الجذابة. سوف ترى أيضا ترجمات سريعة للافتات الطريق.

سوف يعرف الجائل على قدمه، أو الراغب في إقامة مخيم، أو الخارج في نزهة موقعه بالضبط في بلد أجنبي لكنه أيضا سيتعرف على أسماء جميع النباتات والحيوانات، وسوف يكون قادرا على مشاهدة خارطة للمنطقة وتلقي تقارير عن حالة الطقس. كما سي شاهد أيضا آثار الحيوانات ومواقع المخيمات المختبئة وسط الأحرار والأشجار.

وسوف يتمكن الباحثون عن شقق من رؤية المتاح أثناء سيرهم في الشارع أو قيادتهم السيارة. إن عدستك سوف تعرض لك السعر، والمرافق المزودة بها، إلخ، لأي شقة أو منزل معروض للبيع.

وعند التحديق في السماء ليلاً، سوف ترى النجوم وجميع الأبراج محددة بوضوح، كما لو كنت تشاهد عرض القبة السماوية، إلا أن النجوم التي سترها هذه المرة ستكون حقيقية. سوف ترى أيضاً مواقع المجرات، والثقوب السوداء البعيدة، وغيرها من المشاهد الفلكية المشوقة ومواقعها وسوف تكون قادراً على إنزال محاضرات مشوقة.

أضف إلى ذلك قدرتك على الرؤية من خلال الأجسام وزيارة البلدان الأجنبية. إن الرؤية المضخمة سوف تكون ضرورية إذا كنت تحتاج لمعلومات شديدة التخصص في لمح البصر.

على سبيل المثال، إذا كنت ممثلاً، أو موسيقياً، أو مؤدياً من أي نوع وعليك أن تحفظ عن ظهر قلب مادة مكتوبة هائلة الحجم، فإنك في المستقبل سوف ترى جميع السطور أو النوتة الموسيقية من خلال عدستك. فلن تكون في حاجة إلى ملقنين، ولا بطاقات تلقين، ولا لنوتة موسيقية، أو ملاحظات تذكرك بما تريد. لن تحتاج لحفظ أي شيء عن ظهر قلب بعد ذلك.

ومن بين الأمثلة الأخرى: إذا كنت طالباً وفاتتك محاضرة، فسوف تكون قادراً على إنزال المحاضرات التي قدمها أساتذة افتراضيون في أي مادة ومشاهدتهم. وعن طريق الحضور عن بعد، من الممكن أن تظهر صورة الأستاذ الحقيقي أمامك وأن يجيبك عن أي سؤال يخطر على

بالك. سوف تكون قادرا أيضا على مشاهدة عروض شارحة للتجارب، وأفلام فيديو، إلخ، من خلال عدستك.

- إذا كنت جنديا تشارك في إحدى الحروب، فإن نظارتك أو خوذتك قد تقدم لك أحدث المعلومات كاملة، إضافة إلى الخرائط، ومواقع العدو، واتجاه نيران العدو، والتعليمات الواردة من رؤسائك، إلخ. وخلال التراسق بالنيران، عندما يكون أزيز الرصاص قادما من كل صوب، سوف تكون قادرا على الرؤية من خلال الحواجز والتلال وتحديد موقع العدو، إذ ستخلق هناك طائرات دون طيار فوق الموقع في استطاعتها تحديد كل المواقع.

- إذا كنت جراحا تجري عملية طوارئ دقيقة، فسوف تكون قادرا على رؤية ما بداخل المريض (من خلال أجهزة رنين مغناطيسي محمولة)، من خلال جسده (عبر أجهزة استشعار تتحرك داخل الجسم)، بالإضافة إلى إمكانية الدخول على السجلات الطبية وفيديوهات للعمليات السابقة.
- إذا كنت تلعب لعبة من ألعاب الفيديو، يمكنك الغوص في الفضاء الإلكتروني من خلال عدستك اللاصقة. وبرغم وجودك داخل غرفة خالية، فإنه سيكون باستطاعتك مشاهدة جميع أصدقائك مجسمين تجسيما متقنا، تخوض مغامرة في أراضٍ غريبة وأنت تستعد للدخول في معركة مع كائنات غريبة تخيلية. سوف يبدو الأمر كما لو كنت في ميدان معركة على كوكب غريب، وطلقات الأشعة تنز من جميع الجوانب من حولك ومن حول أصدقائك.

- إذا كنت في حاجة لمطالعة أي إحصائيات أو منافسات لأحد الرياضيين،

فإن المعلومات سوف تقفز إليك على الفور لتظهر من خلال عدستك اللاصقة.

ومعنى هذا أنك لن تحتاج إلى هواتف خلوية، أو ساعات حائط أو يد، أو لمشغلات إم بي ثري بعد ذلك. فجميع الأيقونات الموجودة على أشياءك المختلفة الممسوكة باليد سوف تُعرض من خلال عدستك اللاصقة، بحيث يمكنك الدخول عليها في أي وقت تشاء. المكالمات الهاتفية ومواقع الإنترنت الموسيقية، إلخ يمكن الدخول عليها جميعا بهذه الطريقة. ويمكن للواقع المضخم بذلك أن يحل محل العديد من الأجهزة والآلات الموجودة بمنزلك.

هناك عالمة أخرى تعمل على الارتقاء بحدود الواقع المضخم وهي (باتي مايس) Pattie Maes من معمل الميديا التابع لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا MIT Media Laboratory. وبدلاً من استخدام عدسات لاصقة أو نظارات أو نظارات مجسمة خاصة، قامت هذه العالمة بعرض شاشة حاسوب على الأشياء العادية الموجودة في بيئتنا. ومشروعها، الذي أطلقت عليه اسم (الحاسة السادسة)، يتضمن ارتداء كاميرا دقيقة الحجم وجهاز عرض (بروجكتور) حول عنقك، كالميدالية، يمكنها عرض صورة شاشة حاسوب على أي شيء أمامك، كالحائط أو المنضدة. وبالضغط على أزرار تخيلية ينشط الحاسوب آلياً، تماماً كما لو كنت تنسخ على لوحة مفاتيح حقيقية. ولما كانت صورة شاشة الحاسوب يمكن عرضها على أي شيء مسطح أو صلب أمامك، فإن باستطاعتك تحويل مئات الأشياء إلى شاشات حاسوب.

كذلك، ترتدي كشتبان بلاستيكي plastic thimbles خاصا في إبهامك وأصابعك. وبينما تحرك أصابعك، ينفذ الحاسوب التعليمات على شاشة الحاسوب الموجودة على الجدار. فبتحريك أصابعك على سبيل المثال، يمكنك رسم صور على شاشة الحاسوب. ويمكنك استخدام أصابعك بدلاً من الفأرة في التحكم في المؤشر. وإذا صنعت بيدك شكل مربع، يمكنك تنشيط كاميرا ديجيتال والتقاط صور.

وهذا معناه أيضا أنك عندما تذهب للتسوق، سوف يقوم حاسوبك بمسح شتى المنتجات، وتحديد ماهيتها، ثم يعطيك قراءة كاملة لمحتوياتها، ومحتواها من الأسعار الحرارية، وآراء المستهلكين الآخرين. ولما كانت تكلفة الرقاقات أقل من سعر تكلفة البار كود، فإن جميع المنتجات التجارية سوف يكون عليها عنوانها التجاري الذكي الخاص بها الذي يمكنك الدخول عليه وعمل مسح له.

ومن التطبيقات الأخرى الممكنة للواقع المضخم الرؤية بالأشعة السينية، وهو أمر يشبه تماما الرؤية بالأشعة السينية الموجودة في مجلة سوبر مان المصورة، التي تستخدم فيها عملية تسمى (الأشعة السينية المبعثرة المرتدة) backscatter X – rays. فإذا كانت نظارتك أو عدستك اللاصقة حساسة للأشعة السينية، فسوف يكون من الممكن أن ترى من خلال الحوائط. فبينما تطالع ما حولك، سوف تكون قادرا على الرؤية من خلال الأجسام، تماما مثلما يحدث في القصص المصورة. فكل طفل، عندما قرأ لأول مرة قصص (سوبر مان) المصورة، كان يحلم بأن يكون (أسرع من الرصاصة المنطلقة، وأقوى من القاطرة). فآلاف الأطفال ارتدوا العباءات، ووثبوا

من الأقفاص، وقفزوا في الهواء، وتخيّلوا أنهم يرون بأشعة إكس، لكن ذلك صار أيضاً احتمالية واقعية.

إحدى المشكلات في أشعة إكس العادية أنك تضطر لوضع فيلم أشعة إكس خلف الشيء الذي تصوره، وتعرض الشيء للأشعة السينية، ثم تحمض الفيلم. لكن الأشعة السينية المبعثرة المرتدة تحل كل تلك المشكلات. أولاً، لديك أشعة سينية تنبعث من مصدر ضوئي يمكنه أن يغمر غرفة بأكملها. ثم ترتد الأشعة من الجدران، وتمر من الخلف من خلال الجسم الذي تود فحصه. ونظارتك حساسة لأشعة إكس التي مرت من خلال الجسم. إن الصور التي تشاهد بواسطة أشعة سينية مبعثرة مرتدة يمكن أن تكون في نفس جودة الصور التي تراها في القصص المصورة. (عن طريق زيادة الحساسية بالنظارات، يمكن للمرء تخفيض شدة الأشعة السينية، للإقلال من مخاطرها الصحية).

## المترجمون الكونيون

في فيلم (Star Trek) أو رحلة بين النجوم، الملحمي، والحقيقة في جميع أفلام الخيال العلمي الأخرى، من الملاحظ أن جميع الكائنات القادمة من الفضاء كانت تتحدث الإنجليزية بإتقان. وهذا لأنه كان هناك شيء يعرف باسم (المترجم الكوني) Universal translator الذي يتيح لسكان الأرض التخاطب فوراً مع أي حضارة قادمة من كواكب أخرى، فيرفع الحرج المصاحب للاستعمال الشاق للغة الإشارة أو الإيماءات البدائية في التخاطب مع أحد القادمين من الفضاء.



وبرغم أن هذا الأمر عُدّ ذات يوم من قبيل التنبؤ غير الواقعي بالمستقبل، فإن هناك نسخا من المترجم الكوني موجودة بالفعل الآن. ومعنى هذا أنه في المستقبل، إذا كنت سائحا تطوف بلدا أجنبيا وتريد التحدث مع أهله، فسوف ترى من خلال عدستك اللاصقة ترجمة فورية مصاحبة للكلام على هيئة عبارات مثل التي تصاحب الأفلام الأجنبية. ويمكنك أيضا أن تجعل حاسوبك يصنع ترجمة صوتية تغذي بها أذنيك. ومعنى ذلك، أنه قد يكون في الإمكان جعل شخصين يجريان حوارا سويا، وكل منهما يتكلم بلغته، بينما يستمع إلى الترجمة في أذنيه، لو كان كلاهما يمتلك مترجما كونيا. لن تكون الترجمة تامة الإتقان، إذ لا بد وأن ستظهر مشكلات مع العبارات الاصطلاحية لكل لغة، وفي الألفاظ الدارجة، والتعبيرات التي يمكن أن تحمل عدة معانٍ، لكنها ستتمتع بالجودة الكافية بحيث يفهم المرء فحوى ما يقوله الشخص الآخر.

وهناك عدة طرق يتمكن بها العلماء من جعل هذا الأمر حقيقة واقعة. أولاها بصنع آلة يمكنها تحويل اللفظ المنطوق إلى كتابة. ففي منتصف تسعينيات القرن العشرين، ظهرت في الأسواق أولى آلات التعرف على الكلام وصارت متاحة للمستهلكين. وكان في استطاعة هذه الأجهزة التعرف على ما يصل إلى 40 ألف كلمة بنسبة دقة تبلغ 95 %. ولما كان الحوار التقليدي اليومي لا تستخدم فيه عادةً سوى من 500 إلى ألف كلمة، فإن تلك الآلات تعد أكثر من دقيقة. وبمجرد إتمام عملية نقل الصوت الادمي إلى كلمات مكتوبة، فإن كل لفظ تتم ترجمته إلى لغة أخرى من خلال قاموس الحاسوب. ثم يأتي الجزء الشاق: وضع الألفاظ داخل

سياق، بإضافة العبارات الدارجة والتعبيرات العامية، إلخ، وجميعها تستلزم فهما معقدا للتفاصيل الصغيرة للغة. ويطلق على هذا الميدان اسم CAT (أي الترجمة بمساعدة الحاسوب).

وهناك طريقة أخرى تبتكر لأول مرة في جامعة كارنيغي ميلون Carnegie Mellon في بيتسبرج. فقد صنع العلماء هناك بالفعل نسخا مبدئية من أجهزة يمكنها الترجمة من اللغة الصينية إلى الإنجليزية، ومن الإنجليزية إلى الأسبانية والألمانية. وهم يصلون أقطابا كهربية يعنق المتكلم ووجهه؛ وتلتقط تلك الأقطاب التقلص العضلي وتفك شفرة الألفاظ المنطوقة. ولا يتطلب عملهم هذا أية معدات صوتية، إذ يمكن تحريك الشفاه فقط بالألفاظ في صمت. ثم يقوم حاسوب بترجمة تلك الألفاظ فينطق بها مخلق صوت جهورا. وفي المحادثات البسيطة التي لا يزيد عدد الكلمات المستخدمة فيها على 100 إلى 200 كلمة، وصلوا إلى دقة نسبتها 80 %.

تقول إحدى الباحثات، وهي تانيا شولتز Tanja Schultz: (الفكرة مفادها أن باستطاعتك نطق الكلمات باللغة الإنجليزية فتخرج من الجهاز باللغة الصينية أو بلغة أخرى). وفي المستقبل، قد يكون من الممكن للحاسوب قراءة شفاه شخص يتحدث معه، وبهذا لا تصبح الأقطاب الكهربية ضرورية. وهكذا، من حيث المبدأ، من الممكن أن يتحدث شخصان في حوار حي معا، رغم أن كلاً منهما يتكلم بلغة مختلفة عن الآخر.

وفي المستقبل، قد تنهاوى بالتدريج حواجز اللغة، تلك الحواجز التي كانت تعرقل بصورة مأساوية التفاهم بين الثقافات المختلفة وبعضها، مع

وجود المترجم العالمي وعدسات الإنترنت اللاصقة ونظاراته. وعلى الرغم من أن الواقع المضخم يفتح لنا عالماً جديداً تماماً، فإن له حدوداً. فالمشكلة ليست في الأجهزة الصماء، ولا في عرض النطاق، إذ لا توجد حدود في مقدار المعلومات التي يمكن نقلها من خلال كابلات الألياف الضوئية.

البرمجيات هي عنق الزجاجة الحقيقي. إن صناعة البرمجيات اللازمة لا يمكن القيام بها بإتباع أسلوب عتيق. فهناك إنسان - جالس بهدوء على مقعد ومعه قلم رصاص، وورق، وحاسوب محمول - سوف يكتب الأكواد سطرًا سطرًا، التي تجعل هذه العوالم التخيلية حقيقة واقعة. فالمرء يمكنه إنتاج الأجهزة الصماء بالجملة ويزيد في قدرتها بتجميع المزيد والمزيد من الرقاقات، لكنك لا تستطيع إنتاج المخاخ بالجملة. وهذا معناه أن إدخال العالم المضخم فعلاً سوف يستغرق عقوداً، حتى نصل إلى منتصف القرن.

## الصور المجسمة والأبعاد الثلاثية

هناك تقنية أخرى متطورة ربما نشاهدها بحلول منتصف القرن، وهي التلفاز ثلاثي الأبعاد الحقيقي وكذلك الأفلام. ففي تاريخ سابق يعود إلى الخمسينيات من القرن الماضي، كانت الأفلام ثلاثية الأبعاد تحتاج لارتداء نظارات ضخمة ذات عدستين ملونتين، واحدة زرقاء والأخرى حمراء. وكان هذا يمثل استفادة من نظرية حقيقية تقول إن العين اليسرى والعين اليمنى ليستا على استقامة واحدة وأن بينهما اختلافاً طفيفاً؛ وكانت شاشة

السينما تعرض صورتين، إحداهما زرقاء والأخرى حمراء. ولما كانت تلك النظارات تعمل كفلاتر تعطي صورتين مختلفتين واحدة لكل عين، فإنها تمنح إحساساً تخيلياً بأنك تشاهد الأبعاد الثلاثة عندما يدمج المخ الصورتين معاً. ومن ثم كان إدراك العمق بمثابة خدعة. (وكلما كانت عيناك متباعدتين عن بعضهما بعضاً، زاد حجم إدراك العمق. ولهذا نجد عيون بعض الحيوانات خارج رؤوسها: حتى تحصل على أقصى درجة من إدراك العمق).

وهناك تحسين لذلك، وهو امتلاك نظارات ثلاثية الأبعاد مصنوعة من زجاج مستقطب، وبهذا تعرض على العينين اليسرى واليمنى صورتان مستقطبتان مختلفتان. وبهذه الطريقة، يمكن للمرء مشاهدة صور ثلاثية الأبعاد بألوانها المكتملة، وليس فقط باللونين الأزرق والأحمر. ولما كان الضوء عبارة عن موجات، فإنه يتذبذب لأعلى ولأسفل، أو يساراً ويمينا. والعدسة المستقطبة عبارة عن قطعة زجاج تسمح فقط باتجاه واحد من الضوء بالمرور من خلالها. وبهذا، إذا كان لديك عدستان مستقطبتان في نظارتك، ولكل منهما اتجاه مختلف للاستقطاب، فإنه بإمكانك خلق تأثير ثلاثي الأبعاد. وهناك نسخة أكثر تطوراً من ثلاثية الأبعاد، وهي أن تلمع صورتان مختلفتان من خلال عدستك اللاصقة.

أما التلفزيونات ثلاثية الأبعاد التي تحتاج لارتداء نظارات خاصة فقد نزلت الأسواق بالفعل. لكن خلال وقت قصير، لن تعود التلفزيونات ثلاثية الأبعاد في حاجة إليها، حيث ستستخدم بدلاً منها عدسات محدبة. ستصنع شاشة التلفاز بطريقة خاصة بحيث تعرض صورتين منفصلتين

بزاويتين مختلفتين اختلافا طفيفا، واحدة لكل عين. ومن ثم ترى عيناك صورتين مستقلتين، فتعطيك صورة تخيلية ثلاثية الأبعاد. إلا أن رأسك لا بد أن يكون متخذاً وضعاً صحيحاً؛ هناك (نقاط تركيز) ينبغي أن تكون عيناك واقعة عليها وأنت تحديق في الشاشة. (وهذا الأمر يمثل استفادة من ظاهرة خداع بصري شهيرة. في محال الأزياء الحديثة، نشاهد صوراً تتغير بطريقة سحرية ونحن نسير بجوارها ونخطأها. ويتم هذا بالتقاط صورتين، وتمزيق كل واحدة إلى الكثير من الشرائط الرفيعة، ثم وضع كل شريط بالتبادل مع كل صورة، مما يصنع صورة مركبة. ثم توضع عدسة محدبة على هيئة لوح ذي أحاديد رأسية عديدة فوق سطح الصورة المركبة، وكل أخذود موضوع بدقة فوق سطح شريطين. ويكون الأخدود له شكل خاص بحيث عندما تحديق فيه من إحدى الزوايا، يمكنك رؤية أحد الشرائط، لكن الشريط الآخر لا يبدو إلا من زاوية أخرى. ومن ثم، فإنك بمرورك على لوح الزجاج ترى كل صورة منهما تتحول فجأة إلى الصورة الأخرى، ثم تعود للصورة الأولى من جديد وهكذا. إن التلفزيونات ثلاثية الأبعاد سوف تحل محل تلك الصور الثابتة بتحريك الصور للوصول للتأثير ذاته دون استعمال النظارات).

غير أن أكثر نسخ الأبعاد الثلاثية تطورا هي الصور المجسمة. فدون استخدام أية نظارات، سوف تشاهد مقدمة موجة الصورة ثلاثية الأبعاد بدقة، كما لو كانت قابعة أمامك مباشرة. الصور المجسمة موجودة منذ عقود مضت (فهي تظهر في محال الأزياء، وعلى بطاقات الائتمان، وفي المعارض)، وهي تظهر في أفلام الخيال العلمي. ففي فيلم Star Wars، تم

عرض حبكة القصة من خلال رسالة تعرض فيها الأميرة ليا محتنتها على أعضاء تحالف المتمردين عرضا مجسما ثلاثي الأبعاد.

المشكلة أن صنع الصور المجسمة أمر بالغ الصعوبة.

تصنع الصور المجسمة بأخذ شعاع ليزر واحد وشقه إلى نصفين. أحدهما يسقط على الشيء الذي تريد تصويره فوتوغرافيا، والذي يرتد بعد ذلك منه ليسقط على شاشة خاصة. أما شعاع الليزر الثاني فيسقط فوق الشاشة مباشرةً. ويصنع المزج بين الشعاعين نمطا تداخليا معقدا يحتوي على صورة ثلاثية الأبعاد (مجمدة) للشيء الأصلي، تلتقط بعد ذلك على فيلم خاص على الشاشة. وبعدها، وبإطلاق شعاع ليزر آخر يمر من خلال الشاشة، تخرج صورة الشيء الأصلي إلى الحياة بأبعادها الثلاثية كاملة.

وهناك مشكلتان في التلفاز المجسم. الأولى، أن الصورة يجب أن تضيء على شاشة. وبجلوسك أمام الشاشة، ترى بالضبط صورة الشيء الأصلي ثلاثية الأبعاد. لكنك لا تستطيع أن تمد يدك لتلمس الشيء. فالصورة ثلاثية الأبعاد التي تراها أمامك إن هي إلا خيال.

ومعنى هذا أنك إذا كنت تشاهد مباراة كرة قدم ثلاثية الأبعاد على تلفازك المجسم، فإنك أينما تحركت، سوف تتحرك الصورة التي أمامك كما لو كانت حقيقية. فقد يبدو لك أنك جالس عند خط الخمسين ياردة مباشرةً، تشاهد المباراة على بعد بوصات فقط من لاعبي كرة القدم. لكنك إذا حاولت أن تمد يدك لالتقاط الكرة، فسوف تصطدم بالشاشة.

المشكلة التقنية الحقيقية التي حالت دون تطوير التلفاز المجسم تكمن في تخزين المعلومات. فالصورة الحقيقية ثلاثية الأبعاد تحتوي على كمية هائلة

من المعلومات، تبلغ أضعاف المعلومات المخزنة داخل صورة واحدة ذات بعدين. والحاسبات تعالج بانتظام الصور ثنائية الأبعاد، إذ إن الصورة تتم تجزئتها إلى نقاط دقيقة، تسمى البكسلات، وكل بكسل تنير بواسطة ترانزستور دقيق الحجم. لكن لجعل صورة ثلاثية الأبعاد تتحرك، فأنت في حاجة لإضاءة ثلاثين صورة في الثانية الواحدة. وبحسبة سريعة يتبين لنا أن المعلومات المطلوبة لتوليد صور ثلاثية الأبعاد مجسمة في حالة حركة تتجاوز بكثير القدرة التخزينية للإنترنت بوضعه الحالي.

وبحلول منتصف القرن، قد يتم حل هذه المشكلة مع التوسع في عرض نطاق الإنترنت توسعاً هائلاً أسياً.

فكيف سيبدو التلفاز ثلاثي الأبعاد الحقيقي؟

أحد الاحتمالات أن شكل الشاشة يشبه اسطوانة أو قبة تجلس بداخلها. وعندما تضيء الصورة المجسمة على الشاشة، نشاهد الصور ثلاثية الأبعاد من حولنا، كما لو كنا بالفعل في موقع الأحداث.

## المستقبل البعيد (2070 - 2100)

### العقل يسمو فوق المادة

بحلول نهاية هذا القرن، سوف نتحكم في الحاسبات مباشرة بأذهاننا. مثل آلهة الإغريق، سوف نفكر في أوامر معينة وسوف تلبى رغباتنا. لقد وضع بالفعل أساس هذه التقنية. غير أنها قد تستغرق عقوداً من العمل الشاق إلى أن تصل لحد الإتقان. وتتكون هذه الثورة من جزأين: الأول، أن على العقل أن يكون قادراً على التحكم في الأشياء من حوله. والثاني، أن على الحاسوب أن يفك شفرة رغبات الشخص حتى ينفذها.

صنعت أولى الطفرات العلمية عام 1998، عندما وضع العلماء بجامعة إيموري Emory University وجامعة توبينجن University of Tübingen الألمانية، قطباً زجاجياً دقيق الحجم في المخ مباشرة لدى رجل يبلغ من العمر ستاً وخمسين عاماً أصيب بالشلل جراء سكتة دماغية. تم إيصال قطب كهربائي بحاسوب قام بتحليل الإشارات الواردة من مخ الرجل. وصار مريض السكتة الدماغية قادراً على رؤية صورة المؤشر على شاشة الحاسوب. وبعدها، وباستخدام التغذية الحيوية الارتجاعية، صار قادراً على التحكم في المؤشر على شاشة الحاسوب بمجرد التفكير. وللمرة الأولى، حدث اتصال مباشر بين مخ الإنسان والحاسوب.

أما أعظم النسخ تعقيداً لهذه التقنية فتم تطويرها في جامعة براون Brawn University على يد عالم المخ والأعصاب جون دونوج John



Donoghue، الذي صنع جهازاً يسمى (بوابة المخ) BrainGate لمساعدة من عانوا من إصابات معيقة بالمخ على التخاطب مع الغير، وقد أحدث هذا العالم ضجة إعلامية، بل وكان نجم غلاف مجلة (نيتشر) Nature عام 2006.

وأخبرني دونوج أن حلمه هو جعل بوابة المخ (برين جيت) تحدث ثورة في الأسلوب الذي نعالج به إصابات المخ عن طريق الاستفادة الكاملة من الثورة المعلوماتية. لقد كان له بالفعل تأثير هائل على حياة مرضاه، وكانت لديه آمال كبيرة في الارتقاء بهذه التقنية. وكان لديه اهتمام شخصي ببحثه لأنه وهو طفل، كان مقعداً على كرسي متحرك نتيجة لإصابته بمرض تأكلي ومن ثم فهو يعرف شعور العاجز الذي لا حول له ولا قوة.

ومن بين مرضاه ضحايا السكتة الدماغية الذين أصيبوا بشلل كامل وغير قادرين على التواصل مع أحبابهم، رغم أن مخاخهم نشيطة. لقد وضع رقاقة، لا يزيد عرضها على 4 ملليمترات، فوق سطح مخ مريض السكتة الدماغية، في المنطقة التي تتحكم في الأعصاب الحركية. ثم تم توصيل هذه الرقاقة بعد ذلك بحاسوب يحلل ويعالج إشارات المخ ويرسلها في النهاية إلى حاسوب محمول.

في بادئ الأمر لم تكن لدى المريض سيطرة على موقع المؤشر، لكنه كان قادراً على رؤية الموقع الذي تتحرك فيه. وعن طريق المحاولة والخطأ، تعلم المريض كيفية التحكم في المؤشر، وبعد عدة ساعات، تمكن من وضعه في أي مكان يريده على الشاشة. ومع التدريب، صار مريض السكتة قادراً على قراءة وكتابة رسائل إلكترونية ولعب ألعاب الفيديو. فمن حيث المبدأ

من المؤكد أن الشخص المشلول قادر على أداء أي وظيفة يمكن التحكم فيها من خلال الحاسوب.

في البداية، بدأ دونوج بأربعة مرضى، اثنان يعانيان من إصابات في الحبل الشوكي، وواحد أصيب بسكتة دماغية، والرابع يعاني من مرض ALS (تصلب جانبي ضموري). أحدهم كان مصاباً بشلل رباعي من العنق حتى طرفه السفلي، لم يستغرق سوى يوم واحد كي يتقن تحريك المؤشر بذهنه. واليوم، صار يمكنه التحكم في التلفاز، وتحريك مؤشر الحاسوب، ولعب ألعاب الفيديو، وقراءة البريد الإلكتروني. ويمكن للمرضى أيضاً التحكم في قدرتهم على الحركة عن طريق التعامل مع كرسي متحرك مزود بموتور.

خلال هذه المدة القصيرة، لا يقل هذا الإنجاز عن كونه إعجازاً بالنسبة لأناس مصابين بالشلل الكامل. فذات يوم، كانوا محاصرين، بلا حول ولا قوة، داخل أجسادهم؛ وفي اليوم التالي، صاروا يتصفحون الإنترنت ويجرون المحادثات مع أناس من جميع أنحاء العالم.

(حضرت ذات يوم حفل استقبال في مركز لنكولن Lincoln Center بنيويورك على شرف عالم الفلك العظيم ستيفن هوكينج<sup>(1)</sup> Stephen Hawking. وكان مما يمزق نياط القلوب أن أراه مقعداً على كرسي متحرك،

(1) ستيفن هوكينج Stephen Hawking: عالم فيزياء نظرية وفلك إنجليزي. أجرى أبحاثاً بمعاونة علماء آخرين في إطار نظرية النسبية العامة كما حاول إثبات أن الثقوب السوداء تبث إشعاعات. أصيب بمرض التصلب الجانبي الضموري مما جعله مقعداً تماماً. من أشهر مؤلفاته (التصميم الكبير) The Grand Design و(تاريخ موجز للزمن) A Brief History of Time. (المترجم)

عاجزا عن تحريك أي شيء باستثناء بعض عضلات الوجه وجفنيه، وهناك ممرضات يمسكن برأسه المشلول لأعلى ويدفعنه ليتجول في أنحاء المكان. ويحتاج لساعات وأيام من الجهد المضني لكي يوصل أفكارا بسيطة للآخرين من خلال جهاز مخلق للصوت. وتساءلت بيني وبين نفسي إن لم يكن الوقت قد فات بالنسبة له كي يستفيد من تقنية (برين جيت). وبعدها جاء جون دونوج، الذي كان من ضمن الحضور أيضا، لتحيتي. إذن لعل برين جيت تكون أفضل خيار أمام هوكنج).

وحققت مجموعة أخرى من علماء جامعة ديوك Duke University نتائج مشابهة مع القروود. وضع ميغيل آيه. إل. نيكوليليس Miguel A. L. Nicoletis ومجموعته رقاقة داخل مخ أحد القردة. وتصل الرقاقة بذراع ميكانيكية. في بادئ الأمر، يهز القرد ذراعه، وهو لا يفهم كيفية تشغيل الذراع الميكانيكية. لكن مع بعض التدريب، صارت هذه القروود باستخدام قوة أذهانها، قادرة على التحكم في حركات الذراع الميكانيكية؛ على سبيل المثال، تحريكها بحيث يمكنها التقاط إصبع موز. ويمكنها بالفطرة تحريك تلك الأذرع دون تفكير، كما لو كانت الذراع الميكانيكية ذراعها الحقيقية. يقول نيكوليليس: (هناك بعض الأدلة الفسيولوجية على أنه خلال التجربة شعرت هذه القروود بأنها أكثر ارتباطا بالإنسان الآلي من أجسادها هي).

وهذا معناه أيضا أنها سوف تتمكن ذات يوم من التحكم في الآلات باستخدام التفكير المحض. أولئك الذين أصيبوا بالشلل ربما يكونون قادرين على ربط مخ الشخص ربطا مباشرا بالأذرع والسيقان الميكانيكية،

والاستغناء عن الحبل الشوكي، وبهذا يتمكن المريض من السير من جديد. كذلك فإن هذه التقنية قد تضع الأساس للتحكم في عالمنا عن طريق القدرة الذهنية.

## قراءة الأفكار

إذا كان باستطاعة المخ التحكم في حاسوب أو ذراع ميكانيكية، فهل يستطيع حاسوب أن يقرأ أفكار شخص ما، دون وضع أقطاب كهربائية داخل المخ؟

من المعروف منذ عام 1875 أن عمل المخ يقوم على أساس كهرباء تسري بين خلاياه العصبية وبعضها، وهو ما يولد إشارات كهربية واهنة يمكن قياسها بوضع أقطاب حول رأس الإنسان. ومن خلال تحليل النبضات الكهربائية التي تلتقطها تلك الأقطاب، يمكن للمرء تسجيل موجات المخ. ويسمى هذا رسم المخ الكهربائي Electroencephalogram، والذي يمكنه تسجيل التغيرات الكبرى التي تحدث داخل المخ، مثل تلك التي تحدث أثناء النوم، وكذلك الأحوال المزاجية، مثل الهياج، والغضب.. إلخ. ويمكن عرض نتيجة رسم المخ على شاشة حاسوب، يمكن للشخص مشاهدتها. وبعد برهة، يكون الشخص قادراً على تحريك المؤشر عن طريق التفكير وحده. وقد تمكن (نيل بيرباومر) Neils Birbaumer العالم بجامعة توبنجن University of Tubingen، بالفعل من تدريب أشخاص مصابين بشلل جزئي من نسخ عبارات بسيطة من خلال هذه الطريقة.

وحتى صانعي لعب الأطفال يستفيدون من هذا. فهناك عدد من شركات

لعب الأطفال، من بينها (نيوروسكاي) NeuroSky، تقوم بتسويق شريط رأس (باندانا) وبداخله قطب من نوع رسام المخ الكهربائي. فإذا ركزت تفكيرك بصورة ما، يمكنك تنشيط رسام المخ الكهربائي الموجود داخل شريط الرأس، الذي يتحكم بعد ذلك في اللعبة. على سبيل المثال، يمكنك رفع كرة بنج بونج داخل اسطوانة بمجرد إعمال الفكر.

وميزة رسام المخ الكهربائي أن باستطاعته سريعا اكتشاف الترددات المختلفة التي يثبها المخ دون الحاجة لمعدات معقدة باهظة الثمن. لكن هناك عيب كبير في هذا الأمر أن رسام المخ الكهربائي لا يمكنه تعيين مواقع محددة للأفكار داخل المخ.

وهناك طريقة أكثر حساسية من تلك بكثير، وهي (المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي) <sup>(1)</sup> (fMRI). ويختلف رسم المخ الكهربائي عن المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي في عدة نقاط مهمة. فالمسح برسم المخ جهاز سلمي كل ما يفعله أنه يلتقط الإشارات الكهربائية من المخ، وبهذا لا يمكننا أن نحدد بطريقة جيدة تماما موقع المصدر. أما آلة المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي فإنها تستخدم (موجات الصدى) التي تصنعها موجات الراديو في الغوص داخل أعماق النسيج الحي. وهذا يسمح لنا بالتحديد بالغ الدقة للموقع الذي تصدر منه مختلف الإشارات، مما يعطينا صورة ثلاثية الأبعاد رائعة لما بداخل المخ. إن آلة المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي باهظة الثمن للغاية وتحتاج إلى مختبر

(1) التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي (fMRI) Functional Magnetic Resonance Imaging : نوع من التصوير بالرنين المغناطيسي المتخصص المستخدم لقياس استجابة الدورة الدموية (التغير في تدفق الدم) المتصلة بالنشاط العصبي في الدماغ أو النخاع الشوكي من البشر أو الحيوانات الأخرى. (المترجم)

مليء بالمعدات الثقيلة، لكنها قدمت لنا بالفعل تفاصيل في غاية الإثارة لأسلوب أداء المخ لوظائفه الذهنية. إن المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي يتيح للعلماء تعيين موقع وجود الأكسجين داخل هيموجلوبين الدم. ولما كان الهيموجلوبين المؤكسج يحتوي على طاقة تمد النشاط الخلوي بالوقود اللازم، فإن تحديد مقدار تدفق هذا الأكسجين يتيح لنا تتبع مسار تدفق الأفكار داخل المخ.

ويقول جوشوا فريدمان Joshua Freedman، طبيب نفساني بجامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس UCLA: (إن الأمر أشبه بأن تكون عالم فلك في القرن السادس عشر بعد اختراع التلسكوب. لألوف السنين، حاول أناس يتمتعون بالذكاء الخارق فهم ما يحدث في السماوات، غير أنهم لم يتمكنوا سوى من تخمين ما يوجد فيما وراء قدرة الإنسان على الرؤية دون وسائل مساعدة. ثم فجأة ظهرت تقنية جديدة أتاحت لهم أن يروا مباشرةً ما يحدث هناك).

حقيقةً، يمكن لعمليات المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي حتى أن ترصد حركة الأفكار داخل المخ الحي بدقة تصل إلى المليمتر، أو حجم أقل من رأس الدبوس، وهو حجم يعادل حجم ربما بضعة آلاف من الخلايا. ومن ثم يمكن للمسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي إعطاؤنا صوراً ثلاثية الأبعاد لسريان الطاقة داخل المخ أثناء التفكير تصل إلى حد مذهل من الدقة. وفي نهاية المطاف، ربما يجري تشييد ماكينات رنين مغناطيسي وظيفي في مقدورها سبر غور المخ حتى مستوى النيورون (الخلية العصبية) الواحد، وفي هذه الحالة ربما أمكن للمرء التقاط الأنماط العصبية المقابلة لخواطر محددة.

وقد تحقق سبق علمي كبير مؤخراً على يد كيندريك كاي Kendrick Kay وزملائه بجامعة كاليفورنيا University of California في بيركلي

Berkeley. لقد أجروا مسحاً بالرنين المغناطيسي الوظيفي fMRI لأناس ينظرون إلى صور لمختلف الأشياء، كالطعام، والحيوانات، والبشر، وأشياء عادية مختلفة الألوان. وصنع كاي وزملاؤه برنامجاً حاسوب يمكنه الربط بين تلك الأشياء وأنماط المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي المقابلة لها. وكلما رأى الأفراد أشياء أكثر، تحسنت قدرة برنامج الحاسوب على تحديد ماهية تلك الأشياء على صور المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي.

بعد ذلك قاموا بعرض أشياء مختلفة تماماً على الأشخاص أنفسهم، وكان برنامج الحاسوب قادراً في الغالب على التوفيق بصورة صحيحة بين الشيء والمسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي. وعندما عرضت عليهم 120 صورة لأشياء جديدة، توافق برنامج الحاسوب بصورة صحيحة مع المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي في نسبة 90 في المائة من المرات. وعندما عرضت على الأفراد 1000 صورة جديدة، كانت نسبة نجاح برنامج الحاسوب 80 %.

ويقول كاي إنه (من الممكن تحديد شاهدها الرائي .... وقد يكون ممكناً في القريب العاجل إعادة بناء صورة للتجربة البصرية التي خاضها شخص ما من قياسات نشاط المخ وحدها).

والهدف من هذه الطريقة إنشاء (قاموس للأفكار)، بحيث يكون لكل شيء صورة مقابلة محددة من صور المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي. وعن طريق قراءة نمط المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي، يمكن للمرء بعد ذلك فك شفرة ما يجول بخاطر الإنسان. وفي النهاية، ربما يقوم الحاسوب بمسح الآلاف من أنماط المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي التي تنهال من

المخ أثناء التفكير وفك شفرة كل واحد منها. وبهذه الطريقة، قد يتمكن الإنسان من فك شفرة تيار الوعي لدى أحد من الناس.

## تصوير الأحلام فوتوغرافيا

إن المشكلة التي تعترض هذه التقنية، مع ذلك، أنه بينما قد يكون من الممكن معرفة إن كنت تفكر في كلب مثلاً أم لا، إلا أنه لا يمكن إعادة رسم صورة الكلب الحقيقي الذي تفكر فيه بالفعل. وقد ظهر خط جديد من الأبحاث، ألا وهو محاولة إعادة إنشاء الصورة التي يفكر فيها المخ بدقة، بحيث إننا ربما نتمكن ذات يوم من صنع فيلم فيديو لخواطر الإنسان وأفكاره. وبذلك قد يصبح الإنسان قادراً على عمل تسجيل فيديو لحلم زاره في المنام.

منذ الأزل، ومسألة الأحلام تشغل ألباب الناس، تلك الصور العابرة سريعة الزوال التي أحيانا تصيبننا بإحباط كلما تذكرناها أو فهمناها. ولطالما حلمت هوليوود بأجهزة يمكنها ذات يوم أن ترسل بخواطر أشبه بالأحلام إلى المخ أو حتى تسجلها، مثلما ظهر في أفلام مثل Total Recall. وكان هذا كله، على أية حال، تخميناً محضاً.. إلى وقت قريب، أعني.

فلقد أحرز العلماء تقدماً يستحق الإعجاب في هذا المجال الذي كان يظن يوماً أنه مستحيل: التقاط صور فوتوغرافية لذكرياتنا وربما لأحلامنا أيضاً. وتحققت الخطوات الأولى في هذا الصدد على يد علماء بمختبر علم الأعصاب الحاسوبي في برنامج بحوث الاتصالات اللاسلكية المتقدمة بكيوتو. فعرضوا على عدة أفراد نقطة بالغة الدقة من الضوء في موقع معين. ثم استعانوا بالمسح بالرنين المغناطيسي في تسجيل موقع اختزان المخ



لتنك المعلومات. ثم حركوا نقطة الضوء الدقيقة من موقعها وسجلوا الموقع الذي اختزن فيه الصورة الجديدة من المخ. وأخيراً، أصبح لديهم خارطة نقطة لنقطة لمواقع اختزان العشرات من النقاط المضيفة الدقيقة في المخ. وقد حددت مواقع تلك النقاط الدقيقة من الضوء على مصفوفة شبكية  $10 \times 10$ . بعدها عرض العلماء لبرهة خاطفة صورة لشيء بسيط مصنوع من تلك النقاط الـ  $10 \times 10$ ، كحدوة الحصان مثلاً. وباستخدام الحاسوب أمكنهم بعد ذلك تحليل الأسلوب الذي اختزن به المخ هذه الصورة. ولا ريب، أن الشكل الذي اختزنه المخ كان حاصل جمع الصور التي شكلت رسم حدوة الحصان.



وبهذه الطريقة، تمكن هؤلاء العلماء من صنع صورة مما يراه المخ. وهكذا يمكن فك شفرة أي شكل من الأضواء على هذه المصفوفة  $10 \times 10$  بواسطة حاسوب تتم تغذيته بصور مسح المخ بالرنين المغناطيسي الوظيفي.

وفي المستقبل، يرغب هؤلاء العلماء في زيادة عدد البكسلات في مصفوفتهم الـ  $10 \times 10$ . علاوة على ذلك يزعم هؤلاء أن هذه العملية عمومية، بمعنى، أن أي فكرة بصرية أو حتى حلم يجب أن يكون في الإمكان اكتشافه بواسطة المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي. فإذا صح ذلك، فقد يكون معناه أننا سنكون قادرين لأول مرة في التاريخ، على تسجيل الصور التي تظهر في أحلامنا.

وبطبيعة الحال، فإن صورنا الذهنية، لا سيما أحلامنا، لا تكون أبدا واضحة وضوح البللور، وسوف يكون هناك دوما نوع ما من الغموض بها، لكن مجرد صدق مسألة أن باستطاعتنا النظر بعمق في الأفكار البصرية التي تظهر بمخ إنسان ما ليعد أمرا لا بد وأن يشار له بالبنان.



قراءة الأفكار عن طريق رسم المخ الكهربائي (يسار)، والمسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي (يمين). في المستقبل، سوف تصبح هذه الأقطاب صغيرة جدا. سوف يصبح في مقدورنا قراءة أفكار الآخرين، وتحريك الأشياء بمجرد التفكير في ذلك.

## أخلاقيات قراءة الأفكار

هذا الموضوع يطرح مشكلة: ما الذي يمكن أن يحدث إذا كان باستطاعتنا بصورة روتينية قراءة أفكار الناس؟ إن ديفيد بالتيمور David Baltimore، الرئيس الأسبق لمعهد كاليفورنيا للتكنولوجيا (كالتك) California Institute of Technology، يعرب عن قلقه من تلك المشكلة، حيث كتب يقول: (هل يمكننا معرفة أفكار الآخرين؟.. لا أعتقد أن الأمر محض خيال علمي، لكن من شأنه أن يصنع عالما أشبه بالجحيم. تخيل أنك تغازل شريكة حياتك وفي إمكانها قراءة ما يدور بخلدك، أو التفاوض على شروط عقد إذا كان في إمكان الطرف الآخر معرفة ما يدور برأسك).

في معظم الأحيان، حسب تخمينه، سوف ترتبط قراءة الأفكار بشيء من الحرج لكنه لن يكون لها تبعات كارثية. وكتب يقول أيضا: (لقد قيل لي إنك إذا أوقفت محاضرة أحد الأساتذة في وسطها.. لوجدت نسبة لا بأس بها (من الطلبة) منشغلين بهواجس إباحية في مخيلاتهم).

لكن لعل قراءة الأفكار لا تصبح قضية خصوصية على هذا النحو، إذ إن معظم أفكارنا ليست محددة تحديدا واضحا. وقد يصبح من الممكن ذات يوم تصوير أحلام يقظتنا ورؤانا في المنام فوتوغرافيا، غير أنه قد تصيبنا خيبة أمل من رداءة الصور. فم منذ سنوات مضت، أتذكر أنني كنت أقرأ قصة قصيرة تحكي عن رجل ظهر له جني قال له إن في استطاعته أن يلبي له أي طلب يتخيله. وعلى الفور تخيل الرجل وسائل ترف باهظة الثمن، كسيارات ليموزين، وملايين الدولارات السائلة، وقلعة. وفي

الحال أوجد الجنى له هذه الأشياء مجسدةً أمامه. لكن ما أن بدأ الرجل يتفحصها بعناية حتى أصيب بصدمة، فالليموزين كانت بلا مقابض أبواب ولا محرك، وكانت الوجوه المطبوعة على الدولارات مشوهة لا تبين ملامحها، أما القلعة فكانت خاوية تماماً. ففي غمرة اندفاعه لتخيل تلك الأشياء، نسي أن تلك الصور التي كانت في مخيلته ليست سوى أفكار عامة.

أضف إلى ذلك أنه من المشكوك فيه أنك ستتمكن من قراءة أفكار شخص عن بعد. فجميع الوسائل التي درست حتى الآن (بما فيها رسم المخ الكهربى، والرنين المغناطيسى الوظيفى، والأقطاب التى تتركب على المخ نفسه) تحتاج لاتصال وثيق بالفرد.

ومع ذلك، فإنه قد تكرر فى النهاية قوانين تحد من قراءة الأفكار غير المصرح بها. كذلك قد تصنع أجهزة تحمى أفكارنا إما بالتشويش على إشاراتنا الكهربائية وإما إعاقته وإما خلطها ببعضها بعضاً.

إن القراءة الحقيقية للأفكار ما زالت على بعد عقود عديدة منا. لكن على أقل تقدير، ربما أدى ماسح الرنين المغناطيسى الوظيفى وظيفة كاشف الكذب البدائى. فقول الكذب يعنى ضمناً أنك تعرف الحقيقة، لكنك تفكر فى الكذبة وما لا يحصى من عواقبها، وهو ما يتطلب طاقة أكبر بكثير من قول الصدق. ومن هنا، من المحتم أن مسح المخ بالرنين المغناطيسى الوظيفى سوف يكون قادراً على اكتشاف هذا الإنفاق الإضافى من الطاقة. وفى الوقت الحاضر، توجد لدى مجتمع العلم بعض التحفظات حول السماح لأجهزة كشف الكذب

بالرنين المغناطيسي الوظيفي بأن تكون لها الكلمة الأخيرة، لا سيما في قاعات المحاكم. وما زالت التقنية شديدة الحداثة بحيث لا يمكنها تقديم أسلوب لا تشوبه شائبة في كشف الكذب. وسوف تعمل المزيد من الأبحاث، حسبما يقول مروجوها، على تنقيح دقتها. لكن هذه التقنية وجدت لتبقى.

وهناك بالفعل، شركتان تجاريتان تقدمان أجهزة كشف الكذب بالرنين المغناطيسي الوظيفي، تزعمان أنها تحقق نسبة نجاح تزيد على 90 في المائة. وقد استعانت إحدى المحاكم الهندية بالفعل بجهاز رنين مغناطيسي وظيفي في حل إحدى القضايا، وهناك العديد من القضايا المنظورة حالياً أمام القضاء الأمريكي تستعين بهذه التقنية.

إن أجهزة كشف الكذب العادية لا تقيس الكذب؛ وإنما تقيس فقط العلامات الدالة على التوتر، مثل ازدياد معدل إفراز العرق (ويقاس عن طريق تحليل قدرة الجلد على توصيل التيار الكهربائي) وارتفاع سرعة ضربات القلب. إن عمليات المسح المخي تقيس ارتفاع نشاط المخ، لكن ما زالت العلاقة بين هذا والكذب في حاجة إلى إثبات بصورة تخدم العدالة في ساحات القضاء.

وقد يستغرق الأمر سنوات من الاختبار المتأني لاستكشاف حدود ودقة كشف الكذب باستخدام الرنين المغناطيسي الوظيفي. وفي هذه الأثناء، قدمت مؤسسة ماك آرثر MacArthur Foundation مؤخرًا منحة قوامها 10 ملايين دولار لمشروع القانون وعلم المخ والأعصاب لتحديد مدى قدرة هذا العلم على التأثير على المسائل القانونية.

## مسح أجريته على مخي بالرنين المغناطيسي الوظيفي

خضعت ذات يوم لمسح لمخي باستخدام جهاز رنين مغناطيسي وظيفي. لصالح فيلم وثائقي لقناة بي بي سي /ديسكفري، سافرت بالطائرة إلى جامعة ديوك Duke University، حيث وضعوني على نقالة، ثم أدخلت في اسطوانة معدنية عملاقة. وعندما بدأ مغناطيس هائل، شديد القوة (تبلغ قوته 20 ألف مرة قدر المجال المغناطيسي للأرض)، اصطفت ذرات مخي على استقامة واحدة مع المجال المغناطيسي، مثل رؤوس المغازل التي تشير محاورها جميعا في اتجاه واحد. ثم أرسلت نبضة راديو إلى مخي، فقلبت بعض من نويات ذراتي رأسا على عقب. وعندما عادت النويات في النهاية إلى وضعها الطبيعي من جديد، بعثت نبضة واهنة، أو (صدى)، أمكن لجهاز الرنين المغناطيسي الوظيفي اكتشافها. وتحليل موجات الصدى تلك، أمكن لأجهزة الحاسوب معالجة الإشارات، ثم إعادة تجميع خارطة ثلاثية الأبعاد للمخ من الداخل.

كانت العملية برمتها خالية تماما من أي ألم أو أذى. فالإشعاع الذي أطلق نحو جسمي كان غير مؤين ولا يمكنه أن يتلف خلاياي بتمزيق ذراتها إربا مثلاً. وحتى مع التواجد داخل مجال مغناطيسي تبلغ قوته آلاف المرات قدر مجال الأرض المغناطيسي، لم أشعر ولا حتى بأقل قدر من التغيير في جسدي.

وكان الهدف من إجراء مسح الرنين المغناطيسي الوظيفي عليّ هو التحديد الدقيق لموقع تصنيع أفكار معينة داخل مخي. وعلى وجه التحديد، هناك (ساعة) بيولوجية شديدة الصغر داخل مخك، تقع بين العينين تماما،

وخلف أنفك، وهو الموضع الذي يحسب فيه المخ الثواني والدقائق. وحدوث تلف لهذا الجزء الحساس من المخ يسبب تشوها في الإحساس بالزمن.

بينما أنا داخل الماسحة، طلب مني قياس مرور الوقت بالثواني والدقائق. وبعدها، عندما تم تمييز صور الرنين المغناطيسي الوظيفي، أمكنني أن أرى بوضوح بقعة مضيئة ساطعة خلف أنفي مباشرةً ظهرت بينما كنت أعد الثواني. وأدركت أنني كنت أشهد مولد مجال جديد تماما من علم الأحياء: التبع الدقيق للمواقع التي بداخل المخ المرتبطة بأفكار معينة، وهو شكل من أشكال قراءة الأفكار.

## الترايكوردرات وماسحات المخ المحمولة

في المستقبل، لن تحتاج آلة الرنين المغناطيسي إلى أن تكون جهازا هائل الحجم مما تجده في المستشفيات اليوم، يزن عدة أطنان ويشغل حيز غرفة بأكملها. فقد يصغر حجمه حتى يصير أشبه بالهاتف المحمول، بل وقد يصل إلى حجم القطعة المعدنية الصغيرة.

في عام 1993، توصل برنارد بلوميش Bernhard Blumich وزملاؤه، عندما كانوا بمعهد ماكس بلانك Max Planck Institute بجرون أبحاث البوليمرات في ماينز، ألمانيا، إلى فكرة جديدة يمكن من خلالها صنع أجهزة تصوير بالرنين المغناطيسي دقيقة الحجم. لقد شيدوا آلة جديدة، أسموها MRI – MOUSE (وهو اختصار لعبارة معناها مستكشف السطح العالمي الجوال)، وهي حاليا يبلغ طولها حوالي قدم واحدة، يمكنها أن تصل بنا

ذات يوم إلى أجهزة تصوير بالرنين المغناطيسي في حجم فنجان القهوة وتباع في المتاجر الكبرى. قد يشكل هذا الأمر ثورة في عالم الطب، إذ قد يكون المرء قادراً حينذاك على إجراء عمليات مسح بالرنين المغناطيسي في منزله. ويحلم بلوميش بالوقت الذي لا يبعد عنا كثيراً، الذي يتمكن فيه الإنسان من إمرار جهازه الشخصي MRI – MOUSE فوق جلده وينظر إلى ما بداخل جسمه في أي وقت من أوقات اليوم. وسوف تقوم الحاسبات بتحليل الصورة وتشخيص أي مشكلة صحية. واختتم بقوله: (ربما يكون شيئاً أشبه بجهاز الترايكوردر الذي ظهر بفيلم Star Trek، وهو ليس أمراً بعيد المنال عنا بأي حال).

(تعمل عمليات المسح بالرنين المغناطيسي على مبدأ مشابه لإبر البوصلة. إن قطب إبر البوصلة يشير على الفور إلى المجال المغناطيسي. لهذا عندما يوضع الجسم داخل جهاز الرنين، تصبح نويات الذرات، مثل إبر البوصلات، على استقامة واحدة مشيرة للمجال المغناطيسي. ثم تبث موجة راديو في الجسم تجعل النويات تنقلب رأساً على عقب. وفي نهاية الأمر، تعود النويات لوضعها الأصلي، فتبث نبضة راديو ثانية أو (صدى).

ومفتاح التوصل لهذه الماكينة المصغرة للرنين المغناطيسي هو المجالات المغناطيسية غير المتسقة. ففي الأحوال الطبيعية، يعود سبب ضخامة حجم جهاز الرنين المغناطيسي اليوم إلى احتياجنا لوضع الجسم بأكمله داخل مجال مغناطيسي شديد التوحد. وكلما زادت درجة اتساق المجال وتوحده، زادت دقة تفاصيل الصورة الناتجة، وهو ما يصل في يومنا هذا



إلى عشر المليمتر. وللحصول على تلك المجالات الموحدة، يبدأ علماء الفيزياء بملفين كبيرين من الأسلاك، قطرهما قدما بالاقرب، موضوعان فوق بعضهما بعضا. ويسمى هذا ملف هيلمهولتز Helmholtz، ويعطي مجالا مغناطيسيا موحد القوة داخل الحيز الواقع بين الملفين. ثم يوضع جسم الإنسان بعد ذلك على امتداد محور هذين المغناطيسين العملاقين.

لكن في حالة استخدامك للمجالات المغناطيسية غير الموحدة، فإن الصورة الناتجة تكون مشوهة ولا فائدة منها. وكانت هذه هي مشكلة أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي لعدة عقود. لكن بلوميش عثر على أسلوب بارع لتعويض هذا التشوه من خلال إرسال عدة نبضات راديو داخل العينة ثم رصد موجات الصدى المرتدة منها. ثم تستخدم الحاسبات في تحليل تلك الموجات ومعالجة التشوه الذي نشأ عن استخدام مجالات مغناطيسية غير موحدة.

واليوم، يستخدم جهاز MRI – MOUSE المحمول الذي ابتكره بلوميش مغناطيسا صغيرا على شكل حدوة فرس يخرج قطبا شماليا وقطبا جنوبيا عند كل طرف من طرفي الحدوة. ويوضع هذا المغناطيس فوق رأس المريض، وبتحريك المغناطيس، يمكن للمرء رؤية ما داخل الجلد بعمق عدة بوصات. وعلى عكس أجهزة الرنين المغناطيسي العادية، التي تستهلك كميات هائلة من الطاقة ولا بد لها من مقابس كهرباء خاصة، لا يستخدم جهاز MRI – MOUSE سوى كمية الكهرباء التي يستهلكها المصباح الكهربائي العادي.

في بعض الاختبارات الأولى، وضع بلوميش جهاز MRI – MOUSE

فوق سطح إطارات من الكاوتشوك، وهي لينة مثل نسيج الإنسان. ويمكن لهذا الأمر أن يكون له تطبيق تجاري فوري: المسح السريع لعيوب المنتجات. ولا يمكن استخدام آلات الرنين المغناطيسي العادية على أجسام تحتوي على معادن، مثل الإطارات التي تحتوي على سبور من الصلب steel - belted tires (أو الإطارات القطرية). أما جهاز MRI - MOUSE فلا أنه لا يستخدم سوى مجالات مغناطيسية ضعيفة، فإنه لا توجد قيود على استخدامه. (مجالات أجهزة الرنين المغناطيسي التقليدية تبلغ قوتها 20 ألف مرة قدر المجال المغناطيسي للأرض. ويتعرض العديد من أفراد التمريض والفنيين لضرر خطير عند تشغيل المجال المغناطيسي وقد يفاجئون بأجسام معدنية طائرة تأتي طائرة نحوهم. ولا يصنع جهاز MRI - MOUSE هذه المشكلة).

وهذا الجهاز ليس مثاليا فقط لتحليل الأجسام التي بها معادن الحديد، وإنما في استطاعته كذلك تحليل الأجسام التي تبلغ أحجاما لا يمكن إدخالها في جهاز الرنين المغناطيسي التقليدي أو لا يمكن نقلها من مواقعها. على سبيل المثال، في عام 2006 نجح جهاز MRI - MOUSE في تصوير ما بداخل رجل الجليد (أوتزي) Otzi، وهو عبارة عن جثة متجمدة عثر عليها في جبال الألب عام 1991. إذ بتحريك مغناطيس على هيئة حدوة حصان فوق أوتزي، تم بنجاح الكشف عن مختلف طبقات جسده المتجمد.

وفي المستقبل، ربما تم تصغير جهاز MRI - MOUSE أكثر وأكثر، مما يسمح لعمليات المسح بالرنين المغناطيسي للمخ باستخدام شيء في حجم الهاتف المحمول. وعندئذ، قد لا تصبح قراءة أفكار إنسان بإجراء مسح

لمخه تمثل مشكلة عويصة. وفي نهاية المطاف، قد يصل جهاز ماسح الرنين المغناطيسي إلى حجم العملة المعدنية الصغيرة، أي لا يكاد يرى. بل إنه قد يصل إلى حد أن يشبه جهاز رسم المخ الأقل قوة، حيث توضع قبعة بلاستيكية بها العديد من الأقطاب الكهربائية المتصلة بالرأس. (إذا وضعت هذه الأقراص الخاصة بالرنين المغناطيسي المحمول فوق أطراف أصابعك، ثم وضعتها فوق رأس شخص ما، فإن هذا قد يشبه إجراء الالتحام الذهني لشخصية (فولكان) في فيلم Star Trek).

## التحريك عن بعد وقدرات الآلة

ونقطة النهاية لهذا التقدم تصل بنا إلى القدرة على تحريك الأشياء عن بعد؛ وهي قدرة كانت آلهة الأساطير الإغريقية تمتلكها فكانت تحرك الأشياء بمجرد التفكير في ذلك.

ففي فيلم Star Wars، على سبيل المثال، القوة ميدان غامض يتخلل المجرة ويطلق سراح القدرات الذهنية لفرسان جيدي Jedi، فيسمح لهم بالتحكم في الأشياء بعقولهم. فكانت السيوف الضوئية، ومدافع الليزر، بل وحتى سفن الفضاء بأكملها تخلق في الجو باستخدام قدرة (القوة)؛ وكذلك تتحكم في تصرفات الآخرين.

لكننا لن نضطر للسفر إلى مجرة، تبعد كثيرا عن أرضنا حتى نستغل هذه القدرة. فبحلول عام 2100، عندما ندخل غرفة، سوف نكون قادرين على التحكم ذهنيا في حاسوب يتحكم بدوره في الأشياء من حولنا. فقد يكون تحريك الأثاث الثقيل، وإعادة ترتيب مكتبنا، وإجراء إصلاحات،

إلخ، يمكننا بالتفكير فيه. وقد يكون في هذا فائدة عظيمة للعمال، وأطقم رجال الإطفاء، وروّاد الفضاء، والجنود الذين يعملون على ماكينات تحتاج لأكثر من يدين لتحريكها. كما سيغير كذلك من أسلوب تعاملنا مع العالم. وسوف نصبح قادرين على ركوب دراجة، أو قيادة سيارة، أو لعب الجولف أو البيسبول أو تأليف ألعاب جديدة بمجرد التفكير فيها.

وقد يصبح تحريك الأشياء عن طريق التفكير ممكنا باستغلال شيء يسمى الموصلات الفائقة، والتي سنشرحها بمزيد من التفصيل في الفصل الرابع. وبحلول نهاية هذا القرن، ربما يصبح علماء الفيزياء قادرين على صنع موصلات فائقة يمكنها أن تعمل في درجة حرارة الجو العادية، ومن ثم تتيح لنا إنشاء مجالات مغناطيسية لا تحتاج سوى لطاقة ضئيلة الحجم. ومثلما كان القرن العشرين يمثل عصر الكهرباء، فإن المستقبل قد يحمل لنا الموصلات فائقة القدرة في درجة حرارة الغرفة التي ستقدم لنا عصر المغناطيسية.

في الوقت الحالي يعد صنع المجالات المغناطيسية القوية أمرا باهظ التكلفة لكنه قد يقترب في المستقبل من أن يكون مجانيا. وسوف يتيح هذا لنا الإقلال من الاحتكاك في قطاراتنا وشاحناتنا، مما يحدث ثورة في عالم النقل، ويمنع الفاقد في النقل الكهربائي. وسوف يتيح هذا لنا تحريك الأشياء بمجرد التفكير. ومع المغناطيس الفائقة دقيق الحجم الذي يوضع داخل مختلف الأشياء، سوف نكون قادرين على تحريكها من حولنا بمجرد أن نريد ذلك.

وفي المستقبل القريب، سوف نفترض أن كل شيء به رقاقة دقيقة

بداخله، ليحوّله إلى شيء ذكي. وفي المستقبل البعيد، سوف نفترض أن بداخل كل شيء موصلاً فائقاً دقيقاً يمكنه توليد شحنات متفجرة من الطاقة المغناطيسية، كافية لتحريكه في أرجاء غرفة. ومن الطبيعي أن هذا الموصل الفائق لن يكون به تيار كهربائي. لكن عند إضافة تيار كهربائي ضئيل إليه، يمكنه صنع مجال مغناطيسي قوي، قادر على نقله لمكان آخر من الغرفة. وعن طريق التفكير، لا بد أننا سنكون قادرين على تنشيط المغناطيس الفائق المزروع داخل جسم ما ومن ثم تحريكه من مكانه.

ففي فيلم الرجال - إكس - Men - X، على سبيل المثال، يقود (ماجنيتو) Magneto (المغناطيس)، المتحولين الأشرار، الذين يمكنهم تحريك أشياء هائلة الحجم عن طريق التلاعب بخواصها المغناطيسية. وفي واحد من المشاهد، وصل به الأمر إلى تحريك جسر البوابة الذهبية مستخدماً قوته الذهنية. لكن هناك حدود تقيد هذه القدرات. فمثلاً، من الصعب تحريك شيء مثل البلاستيك أو الورق ليست له أية خواص مغناطيسية. (في نهاية أول أجزاء فيلم الرجال إكس، يتم حبس (ماجنيتو) في سجن مصنوع كله من البلاستيك).

وفي المستقبل، قد تكون الموصلات الفائقة في درجة حرارة الجو محتبئة داخل الأشياء العادية، حتى التي لا تتمتع بخواص مغناطيسية. فإذا تم توصيل التيار داخل الشيء، يصبح مغناطيسياً ومن ثم يصبح في الإمكان تحريكه بواسطة مجال مغناطيسي خارجي نتحكم فيه بأذهاننا. سوف نملك أيضاً القدرة على التحكم في الروبوتات والقرائن أو المجسّسات (الآفاتارات) عن طريق التفكير. ومعنى هذا، أنه كما في

فيلمى Avatar و Surrogates، ربما نكون قادرين على التحكم في حركات بدائلنا، بل وحتى الشعور بالألم والضغط. وقد تثبت جدوى ذلك إذا احتجنا لجسد سوبرمان لإجراء إصلاحات في الفضاء الخارجي أو لإنقاذ الناس في حالات الطوارئ. ولعله يوما ما قد نجد رواد الفضاء جالسين في أمان على كوكب الأرض يتحكمون في أجسام آلية لسوبرمان أثناء حركتها فوق سطح القمر. وسوف نناقش هذا الأمر بمزيد من التفاصيل في الفصل التالي.

وينبغي علينا الإشارة كذلك إلى أن امتلاك هذه القدرة للتحريك عن بعد لا يخلو من مخاطر. فكما ذكرت من قبل، في فيلم (الكوكب المحرم)، تصل حضارة قديمة سبقتنا ملايين السنين إلى حلمها النهائي، وهو القدرة على التحكم في أي شيء بقدرة أذهانها. ومن الأمثلة البسيطة على تقنيتهم، أنهم صنعوا ماكينة يمكنها تحويل أفكارك إلى صورة ثلاثية الأبعاد. فأنت تضع الجهاز داخل رأسك، وتتخيل شيئا ما، فتتجسد صورة ثلاثية الأبعاد داخل الآلة. وبرغم أن هذا الجهاز بدا متقدما إلى حد يستحيل على جمهور السينما تصديقه في ذلك الزمن في خمسينيات القرن العشرين، فإن هذا الجهاز سوف يكون متاحا خلال العقود المقبلة. كذلك في الفيلم نفسه، كان هناك جهاز يستغل الطاقة الذهنية في رفع شيء ثقيل. لكننا كما نعلم، لن نضطر للانتظار لملايين السنين حتى نصل إلى هذه التقنية؛ فهي موجودة بالفعل، في شكل لعبة أطفال. فأنت تضع أقطاب رسام المخ الكهربى فوق رأسك، فتكتشف اللعبة النبضات الكهربائية لمخك، ثم ترفع جسما صغيرا، مثلما يحدث في الفيلم. وفي المستقبل، سوف

تلعّب العديد من الألعاب. بمجرد التفكير فقط. وسوف يتم توصيل الفرق الرياضية ذهنيًا بحيث يمكنها تحريك كرة عن طريق التفكير فيها، والفريق الأفضل في تحريك الكرة يصبح هو الفائز.

ويأتي لنا الجزء الأخير أو عقدة فيلم (الكوكب المحرم) بوقفة. فعلى الرغم من عظمة هذه التقنية، فإن سكان الكوكب تعرضوا للفناء؛ لأنهم عجزوا عن ملاحظة وجود عيب في خططهم. إن ماكيناتهم الجبارة لم تخترق فقط أفكارهم أثناء الوعي وإنما وصلت كذلك إلى رغباتهم الدفينة الكامنة في اللاوعي. وعادت إلى الحياة من جديد أفكارهم الهمجية التي طالما كبتوها في نفوسهم آتية من ماضيهم التطوري العتيق المليء بالعنف، فجسدت الآلات كل كابوس زارهم في اللاوعي وحولته إلى واقع. وفي ليلة بلوغ أعظم إبداعاتهم، تعرضت تلك الحضارة العظيمة للدمار على يد التقنية ذاتها التي كانوا يأملون أن تحررهم من المحسوبة.

إلا أن الأمر ما زال بالنسبة لنا خطراً بعيداً. فجهاز بهذه الضخامة لن يكون متاحاً لدينا قبل بلوغ القرن الثاني والعشرين. لكننا على أي حال نواجه قلقاً أكثر قرباً من ذلك. بحلول عام 2100، سوف نعيش أيضاً في عالم يسكنه بشر آليون يتمتعون بخصائص شبه آدمية. فماذا سيحدث إذا صاروا أذكى منا؟

## الفصل الثاني





## مستقبل الذكاء الاصطناعي<sup>(1)</sup> ثورة الآلات

«هل سترث أجهزة الروبوت (الإنسان الآلي) الأرض؟ نعم، لكنها ستكون بمثابة أبنائنا»

- مارفن مينسكي<sup>(2)</sup> Marvin Minsky

استطاعت آلهة الميثولوجيا من خلال قدرتها الإلهية بعث الحياة في الجماد. وبحسب ما جاء في الإنجيل، في (الإصحاح الثاني) من (سفر التكوين): (وجبل الرب الإله آدم ترابا، ونفخ في أنفه نسمة حياة، فصار آدم نفسا حيا). ووفقا لما ذكرته الميثولوجيا اليونانية والإغريقية، امتلكت الإلهة (فينوس) القدرة على بعث الحياة في التماثيل. وبعد أن أخذتها الشفقة بالفنان (بجماليون) الذي وقع في حب ميؤوس مع تماثله حققت له أعلى أمانيه وحولت التمثال إلى امرأة جميلة تدعى (جالاتيا). حتى إن الإله (فولكان) - حداد الآلهة - استطاع أن يخلق جيشا من العبيد الآليين المصنوعين من المعدن ثم بث فيهم الحياة.

(1) الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence: سلوك وخصائص معينة تتسم بها البرامج الحاسوبية مما يجعلها تحاكي القدرات الذهنية البشرية وأنماط عملها. من أهم هذه الخصائص القدرة على التعلم والاستنتاج ورد الفعل على أوضاع لم ترمج في الآلة. إلا أن هذا المصطلح إشكالي نظرا لعدم توفر تعريف محدد للذكاء. الذكاء الاصطناعي فرع من علم الحاسوب. كما تعرف الكثير من الكتب الذكاء الاصطناعي على أنه (دراسة وتصميم العملاء الأذكاء)، والعميل الذكي هو نظام يستوعب بيئته ويتخذ المواقف التي تزيد من فرصه في النجاح في تحقيق مهمته أو مهمة فريقه. جون مكارثي، الذي صاغ هذا المصطلح في عام 1956، عرفه بأنه (علم وهندسة صنع آلات ذكية). (المترجم)

(2) مارفن لي مينسكي Marvin Lee Minsky: ولد في 9 أغسطس 1927، وهو عالم أمريكي مختص بالعلوم الإدراكية والمعرفية في مجال الذكاء الاصطناعي، وهو مؤسس مشارك لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا ومختبر الذكاء الاصطناعي، كما ألف عدة نصوص في مجال الذكاء الاصطناعي والفلسفة. (المترجم)

والآن، نحن نحذو حذو (فولكان) فنصنع في معاملنا آلات تنفخ الروح لا في الصلصال، وإنما في الفولاذ والسليكون. والسؤال هو: هل سيؤدي ذلك إلى تحرير الجنس البشري أم إلى استعباده؟ بقراءة العناوين التي تطلعون اليوم، تبدو المسألة محسومة: فما صنعه الجنس البشري بيديه يكاد اليوم يفوقه سرّيعاً.

## هل هذه هي نهاية البشرية؟

وجملة القول ما جاء في أحد عناوين صحيفة نيويورك تايمز من أن (العلماء يخشون أن الآلات قد تفوق الإنسان ذكاءً). التقى قادة العالم في مجال الذكاء الاصطناعي AI في مؤتمر (أسيلومار) Asilomar بكاليفورنيا عام 2009 ليناقدشوا بجدية ما سيحدث عندما تتولى الآلات في النهاية ذمام الأمور. وكما يحدث في مشهد من مشاهد أفلام هوليود، طرح المندوبون أسئلة سابرة مثل، ماذا سيحدث إذا أصبح الإنسان الآلي أذكى من زوجك؟

وكدليل دامغ على ثورة الآلات هذه، أشار البعض إلى الطائرة دون طيار (بريديتور) Predator - وهي طائرة آلية عنيفة تستهدف حالياً الإرهابيين في أفغانستان وباكستان بدقة متناهية - والسيارات ذاتية القيادة و(أسيمو) ASIMO الإنسان الآلي الأكثر تقدماً في العالم؛ فهو يستطيع السير والركض وصعود الدرج والرقص، حتى إنه يستطيع تقديم القهوة.

ومشيراً إلى الإثارة الجياشة التي سادت المؤتمر، قال (إريك هورفيتز) Eric Horvitz الذي جاء ممثلاً عن شركة مايكروسوفت وأحد منظمي المؤتمر إن

(خبراء التكنولوجيا يطرحون رؤى دينية وتعكس أفكارهم إلى حد ما أصداء فكرة (الرفع) ذاتها. (ويشير الرفع إلى عروج المؤمنين المخلصين إلى السماء عند (العودة الثانية للمسيح). لقب النقاد الروح التي سادت مؤتمر Asilomar (برفع الأذكاء).

وفي ذلك الصيف، كانت الأفلام التي سادت الشاشة الفضية تبدو وكأنها تعظم من تلك الصورة التي تعكس نهاية العالم. فيلم Terminator Salvation مثلاً، يروي قصة مجموعة من عوام البشر تخوض معركة ضد عمالقة آيين استولوا على كوكب الأرض. وفي فيلم Transformers: Revenge of the Fallen، يأتي آليون مستقبليون من الفضاء ليتخذوا من البشر رهائن، ومن الأرض ساحة للنزال تدور عليها حروبهم التي تنشب بين النجوم. وفي فيلم Surrogates، يفضل الناس العيش كآيين يتمتعون بالكمال والجمال والقدرات التي تفوق طبيعة البشر على أن يواجهوا حقيقة أجسادهم التي تبلى بمرور العمر.

إذا حكمنا على الأمر من منظور عناوين الصحف وخشبة المسرح، لو وجدنا أن البشر على وشك التقاط أنفاسهم الأخيرة. يتساءل علماء الذكاء الاصطناعي في أسف: هل سنضطر يوماً إلى الرقص خلف القضبان بينما تلقينا أجهزة الروبوت التي صنعناها بالبول السوداني، كما نفعل نحن بالدببة في حديقة الحيوان؟ أم سنصبح كالكلاب المطيعة في أيدي الآلات التي صنعناها؟

لكن إذا تفحصنا الأمر، لرأينا ما تعجز أعيننا عن رؤيته. لا شك في أنه قد حدثت طفرات هائلة خلال العقد الأخير، لكن علينا وضع الأمور في

نصابها الصحيح بإجراء مقارنة.

طائرة (بريديتور) التي تطير دون طيار ويبلغ طولها 27 قدما والتي تطلق على الإرهابيين قذائف فتاكة من السماء، يتحكم فيها إنسان باستخدام عصا للتحكم. ذلك الإنسان هو في الغالب جندي شاب متمرس في ألعاب الفيديو يجلس مستريحا خلف شاشة الحاسب الآلي ويختار الأهداف. فهذا الإنسان - وليس الطائرة (بريديتور) - هو الذي يوجه الضربات. والسيارات ذاتية القيادة لا تتخذ قرارات مستقلة عندما تُجري مسحاً للأفق وتدير عجلة القيادة؛ لكنها تتبع خريطة GPS (نظام تحديد المواقع العالمي) مخزنة في ذاكرتها. ومن هذا نستنتج أن كابوس الروبوت الواعي الذي يتمتع بكامل الاستقلالية والقدرة على القتل ما زال قابعا في المستقبل البعيد.

وما لا ينبغي أن يثير دهشتنا هو أنه رغم الترويج الإعلامي لأكثر التنبؤات إثارة في مؤتمر (أسيلومار)، كان أغلب العلماء الذين يجرون الأبحاث بصفة دورية في مجال الذكاء الاصطناعي أكثر تحفظاً وحيطاً. فعندما سئل العلماء متى ستصبح الآلات في نفس ذكائنا، جاءوا بمجموعة مدهشة من الإجابات المختلفة التي تراوحت بين 20 و 1000 عام.

لذا، وجب علينا أن نميز بين نوعين من أجهزة الروبوت. النوع الأول هو ذلك الذي يتحكم فيه الإنسان عن بُعد أو الذي تتم برمجته ووضع نص مسبق له كمسجل الشرائط ليتبع تعليمات دقيقة. هذا الروبوت موجود بالفعل ويعتبر موضوعا لعناوين الصحف. وهم يدخلون بيوتنا على مكث وكذلك ساحة النزال. لكنهم بدون إنسان يتخذ القرارات

يصبحون خردة عديمة الفائدة. لذلك، يجب عدم الخلط بين هذا النوع من أجهزة الروبوت والنوع الثاني من أجهزة الروبوت، ذلك النوع ذاتي الاستقلال بحق والذي يستطيع التفكير بنفسه ولا يتطلب إدخالاً بشرياً. أجهزة الروبوت ذاتية الاستقلال هذه هي التي ظلت تراوغ العلماء على مدى نصف القرن الماضي.

## الروبوت (أسيمو)

كثيراً ما يشير الباحثون في مجال الذكاء الاصطناعي إلى الروبوت الذي أنتجته شركة هوندا Honda باسم (أسيمو) (وترمز هذه اللفظة الأوائلية ASIMO إلى عبارة (خطوة متقدمة في الحركة الابتكارية) على أنه تجسيد دقيق للإنجازات التي تحققت في علم الروبوت. ويبلغ طول هذا الروبوت أربع أقدام وثلاث بوصات، ويزن 119 رطلاً، ويبدو كولدٍ صغيرٍ يرتدي خوذة مزودة بقناع وحقيبة ظهر. ويعد (أسيمو) في الواقع جهازاً متميزاً: فهو يستطيع المشي على نحو طبيعي والركض وصعود الدرج والتحدث. كما يستطيع التجول بين الحجرات ورفع الأكواب والصواني، والاستجابة إلى الأوامر البسيطة، حتى إنه يستطيع التعرف على بعض الوجوه. ويتميز كذلك ببراء مفرداته اللغوية وقدرته على التحدث بلغات مختلفة. يُعد (أسيمو) ثمرة عشرين عاماً من العمل المكثف الذي قام به عشرات العلماء في شركة هوندا والذي أثمر عن معجزة الهندسة.

لقد سنحت لي الفرصة في مناسبتين منفصلتين أن أتعامل شخصياً مع (أسيمو) في المؤتمرات أثناء تقديم حلقات علمية خاصة على قناتي بي

بي سي وديسكفري. عندما صافحت يده، أبدى استجابة بشرية تامة. وعندما لوّحت له، لوّح لي هو أيضا. وعندما طلبت منه أن يحضر لي بعض العصير، استدار وسار نحو طاولة المشروبات بحركات بشرية خفيفة. في الواقع، يشبه (أسيمو) الأحياء إلى حد كبير، حتى إنه عندما كان يتحدث كنت أتوقع جزئيا أن يخلع الروبوت خوذته ويكشف عن الصبي الذي كان مختبئا بذكاء داخله. إنه يستطيع الرقص أفضل مني.

للهولة الأولى، يبدو أن (أسيمو) يتمتع بالذكاء والقدرة على الاستجابة للأوامر البشرية وإدارة حوار والتجول عبر الغرفة. أما الواقع، فهو مختلف جدا. عندما كنت أتعامل مع (أسيمو) أمام كاميرا التلفاز، كانت كل الحركات وكل التعبيرات مخططة لها بدقة. في الواقع، لتصوير مشهد مدته خمس دقائق مع (أسيمو)، استغرق الأمر نحو ثلاث ساعات. وحتى ذلك تطلب مساعدة فريق من المتخصصين في معالجة (أسيمو) كانوا يضطرون على مضضٍ إلى إعادة برمجة الروبوت على أجهزة الحاسب الآلي المحمولة الخاصة بهم بعد تصوير كل مشهد. ورغم أن (أسيمو) يستطيع أن يتحدث إليك بلغات مختلفة، فإن الفضل في ذلك يرجع إلى مسجل شرائط يقوم بتشغيل رسائل مسجلة. فالروبوت ببساطة ينطق بلا وعي كالأما قام إنسان ببرمجته. ورغم أن (أسيمو) يزداد تعقيدا كل عام، فهو يعجز عن التفكير المستقل. فكل كلمة وكل إيماءة وكل خطوة يتولى معالجها (أسيمو) تدريبه عليها.

وبعد ذلك، دخلت في حوار صريح مع أحد مخترعي (أسيمو)، وقد اعترف أن (أسيمو) رغم تحركاته وتصرفاته التي تبدو بشرية إلى حد كبير

لا يتعدى ذكاؤه ذكاء حشرة؛ حيث يجب برمجة أغلب تحركاته مسبقاً. يستطيع الروبوت السير مثل الأحياء تماماً، لكن يجب برمجة المسار الذي يتخذه وإلا تعثر بالأثاث نظراً لعجزه عن التعرف على الأشياء الموجودة في الغرفة.

حتى الصرصور إذا ما قارناه بالروبوت يستطيع التعرف على الأجسام وتفادي العقبات والبحث عن الطعام والرفقاء والهروب من الحيوانات المفترسة والتخطيط لمسارات معقدة للهروب والاختباء بين الظلال والاختفاء في الشقوق، كل ذلك في غضون ثوانٍ معدودة.

اعترف توماس دين Thomas Dean الباحث في مجال الذكاء الاصطناعي والأستاذ بجامعة بروان Brown University أن أجهزة الروبوت الخرفاء التي يصنعها (لم تعد مرحلة امتلاك القوة الكافية لتسير عبر الردهة دون أن تترك حفراً كبيرة في الجص). وكما سيتضح لنا فيما بعد، أقوى أجهزة الحاسب الآلي حالياً تستطيع بالكاد تحفيز الخلايا العصبية لفأر، وإن حدث ذلك، فإنه يستمر لبضع ثوانٍ فقط. سيتطلب الأمر عقوداً عديدة من العمل الشاق حتى تصل أجهزة الروبوت لذكاء الفأر أو الأرنب أو الكلب أو القطة، ثم القرد.

## تاريخ الذكاء الاصطناعي

يشير النقاد في بعض الأحيان إلى وجود نمط يقتضي أنه كل ثلاثين عاماً يدعي ممارسو الذكاء الاصطناعي أنهم على وشك إنتاج أجهزة روبوت فائقة الذكاء. وبعد ذلك، يتضح من واقع الأمر أن ما يحدث هو انتكاسة.



في خمسينيات القرن العشرين، عندما تم تقديم الحواسيب الإلكترونية للمرة الأولى بعد الحرب العالمية الثانية، أدهش العلماء الجمهور بفكرة الآلات التي تستطيع عمل المعجزات: مثل رفع القوالب ولعب الداما وحتى حل مسائل الجبر. كان يبدو أن اختراع الآلات الذكية بحق بات وشيكا. كان الجمهور منبهرًا، وسرعان ما ظهرت مقالات في المجالات تنبأ في إشارة بالوقت الذي سيكون هناك روبوت في كل مطبخ ليطهو العشاء أو ينظف المنزل. وفي عام 1965، أعلن رائد الذكاء الاصطناعي (هيربرت سايمن)<sup>(1)</sup> أن الآلات ستكون قادرة على الاضطلاع بأي عمل يستطيع البشر أدائه). لكن الواقع فرض نفسه. فلم تستطع أجهزة لعب الشطرنج الفوز على خبير بشري، لكنها استطاعت فقط لعب الشطرنج، لا أكثر من ذلك. كانت أجهزة الروبوت الأولى تلك بمثابة فرس السيرك الذي يؤدي خدعة واحدة؛ حيث كانت تؤدي مهمة بسيطة واحدة.

وفي خمسينيات القرن العشرين، حدثت في الواقع طفرات حقيقية في الذكاء الاصطناعي، لكن نظرا للمبالغة في الحديث عن هذا التقدم والضجة الدعائية التي ثارت بشأنه، حدثت انتكاسة. وفي ظل النقد المتزايد الذي رددته الجمعية عام 1974، خفضت حكومتا الولايات المتحدة

(1) ألكسندر هيربرت سيمون Alexander Herbert Simon : (15 يونيو، 1916 – 9 فبراير، 2001)، هو اقتصادي أمريكي وعالم سياسة وعالم نفسي وأستاذ سابق شهير في جامعة كارنيجي ميلون، وكانت أبحاثه حول علم النفس المعرفي، علوم الحاسوب، الإدارة العامة، الاقتصاد، الإدارة، فلسفة العلوم، علم الاجتماع، والعلوم السياسية. وله حوالي ألف مؤلف، وهو واحد من أكثر علماء الاجتماع تأثيرًا في القرن العشرين. (المترجم)

وبريطانيا تمويلهما، ليأفل لأول مرة نجم الذكاء الاصطناعي. اليوم، يعرب (بول أبراهام) Paul Abrahams، الباحث في مجال الذكاء الاصطناعي، عن أسفه عندما يذكر تلك الأوقات المتهورة من خمسينيات القرن العشرين عندما كان خريجا في معهد MIT وكان كل شيء يبدو ممكنا. واسترجع تلك الذكريات قائلاً: (كان الأمر أشبه بمجموعة من الناس اقترحوا بناء برج فوق سطح القمر. وكل عام يشيرون بفخر إلى مدى ارتفاع البرج عن العام السابق. لكن المشكلة الوحيدة هي أن القمر لم يكن يقترب أكثر).

وفي ثمانينيات القرن العشرين، بلغ الحماس للذكاء الاصطناعي ذروته مرة أخرى. وهذه المرة، ضخ البنتاجون ملايين الدولارات لصالح مشروعات مثل الشاحنة الذكية التي كان من المفترض أن تتخطى حدود العدو وتؤدي عمليات الاستكشاف وإنقاذ قوات الولايات المتحدة ثم تعود إلى المقر، وكان من المفترض أن تفعل كل ذلك تلقائياً. حتى الحكومة اليابانية وضعت كامل تمويلها تحت تصرف (مشروع أنظمة الجيل الخامس من الحواسب الآلية)، ذلك المشروع الطموح الذي كانت ترعاه وزارة قوية؛ وهي وزارة التجارة الدولية والصناعة في اليابان. وكان يرمي مشروع الجيل الخامس إلى عدة أهداف من بينها تطوير نظام حاسب آلي يستطيع التحدث بلغة الحوار ويتميز بقدرة كاملة على التفكير ويشارك في أي شيء نريده، وكل ذلك بحلول تسعينيات القرن العشرين.

لكن لسوء الحظ كان الشيء الوحيد الذي فعلته الشاحنة الذكية هو أنها ضلت طريقها ولم تعد. أما مشروع الجيل الخامس، فبعد كثير من الدعاية،

تم إلغاء المشروع دون إبداء أسباب. مرة أخرى سبق الخيال الواقع. لقد تحققت بالفعل مكاسب كبيرة في الذكاء الاصطناعي خلال ثمانينيات القرن العشرين، لكن نظراً للمبالغة في الحديث عن التقدم مرة أخرى، حدثت انتكاسة ثانية ليشهد نجم الذكاء الاصطناعي الأفول الثاني له؛ حيث نضب التمويل وتحرر الناس من أوهامهم ليرحلوا في جماعات عن مجال الذكاء الاصطناعي. اتضح مع الأسف أن شيئاً ما كان مفقوداً.

في عام 1992، اختلطت مشاعر باحثي الذكاء الاصطناعي حينما أقاموا احتفالاً خاصاً على شرف فيلم (2011)، الذي تروي أحداثه قصة حاسب آلي يدعى (هال 9000) Hal 9000 تتنابه نوبة من القتل ويذبح طاقم سفينة فضاء. تنبأ هذا الفيلم الذي تم تصويره عام 1968 بأنه بحلول عام 1992، ستكون هناك أجهزة روبوت تستطيع التحدث بحرية إلى البشر حول أي موضوع تقريباً، كما تستطيع قيادة سفينة فضاء. واتضح مع الأسف أن أكثر أجهزة الروبوت تقدماً بالكاد تستطيع بلوغ ذكاء الحشرات.

في عام 1997، حقق Deep Blue الذي أنتجته شركة IBM طفرة تاريخية عندما هزم بطل العالم في الشطرنج (جاري كاسباروف) Gary Kasparov هزيمة ساحقة. كان Deep Blue معجزة هندسية، حيث كان يستطيع إجراء 11 مليار عملية حسابية في الثانية الواحدة. غير أنه بدلاً من أن يفتح الطريق أمام البحث في مجال الذكاء الاصطناعي وأن يقود بداية عصر جديد، فعل المقابل بدقة. لقد أوضح فقط بدائية أبحاث الذكاء الاصطناعي؛ حيث اتضح للكثيرين بعد التحقق من الأمر عجز Deep Blue عن التفكير. لقد كان فائقاً في الشطرنج لكنه كان ليحرز صفراً في اختبار لمعدل الذكاء.

لقد تحول نصره إلى هزيمة، وتولى كاسباروف كل الأحداث الصحفية، نظراً لأن Deep Blue لم يستطع التحدث على الإطلاق. بدأ باحثو الذكاء الاصطناعي يقدرن على مضض حقيقة أن القدرة الحسابية العجماء لا تعادل الذكاء. يقول باحث الذكاء الاصطناعي (ريتشارد هيكلر) Richard Heckler: (يمكنك اليوم شراء برامج شطرنج تستطيع هزيمة الجميع باستثناء أبطال العالم مقابل 49 دولاراً، لكن لا يعتقد أحد أن هذه البرامج ذكية). لكن في ظل قانون (مور) الذي ينتج بغزارة أجيالاً جديدة من الحواسب الآلية كل ثمانية عشر شهراً، يصبح نسيان التشاؤم المعهود عند الجيل الماضي مسألة وقت، وسيتولى زمام الأمور جيل جديد من المتحمسين الأذكياء، ليثبوا حماساً متجدداً وحيوية في مجال ظل لفترة في سبات عميق. وبعد مرور ثلاثين عاماً على آخر استمرار لموجة الركود التي اجتاحت الذكاء الاصطناعي، تقدمت الحواسب الآلية بدرجة كافية لتسمح للجيل الجديد من باحثي الذكاء الاصطناعي مرة أخرى بتنبؤات تحمل آمالاً للمستقبل. ويقول مؤيدو الذكاء الاصطناعي إن وقته قد حان أخيراً. وهذه المرة، الأمر حقيقي. فالمرّة الثالثة لها مفعول السحر. لكن إن حق قولهم، فهل سرعان ما يصبح البشر عديمي الفائدة؟

## هل المخ حاسب رقمي؟

هناك مشكلة أساسية يدركها علماء الرياضيات الآن، وهي أنهم اقترحوا خطأً فادحاً منذ خمسين عاماً عندما ظنوا أن المخ يماثل حاسباً رقمياً ضخماً، فيما يتضح الآن أن هذا غير صحيح. فلا يوجد داخل المخ رقاقة

Pentium أو نظام تشغيل Windows أو برامج تطبيقات أو وحدة معالجة مركزية أو برجة أو تلك الأنظمة الفرعية التي تميز الحاسب الآلي الرقمي المعاصر. فبنية أجهزة الحاسب الآلي الرقمية تختلف في الواقع عن بنية المخ - الذي يعد جهازاً للتعلّم من نوع ما - وهو مجموعة من الخلايا العصبية التي تعاود الاتصال ببعضها باستمرار في كل مرة تتعلم مهمة. (أما الحاسب الآلي الشخصي، فإنه لا يتعلم على الإطلاق. هذا الجهاز اليوم مجرد مستودع للتخزين كما كان بالأمس).

ومن ثم، توجد طريقتان لعمل نموذج للمخ. أولاهما - وهي الطريقة التقليدية من أعلى إلى أدنى - هي التعامل مع أجهزة الروبوت على أنها أجهزة حاسب رقمية، وبرجة كل أدوار الذكاء من البداية. ويمكن تقسيم الحاسب الآلي الرقمي بدوره إلى ما يطلق عليه آلة Turing، وهي عبارة عن جهاز افتراضي قدمه عالم الرياضيات البريطاني القدير آلان تورينج<sup>(1)</sup> Alan Turing. تتكون آلة Turing من ثلاثة مكونات رئيسية: وحدة إدخال ومعالج مركزي يعالج البيانات وحدة إخراج. وتقوم أجهزة الحاسب الآلي الرقمية كافها على هذا النموذج البسيط. وتهدف هذه الطريقة إلى الحصول على CD - ROM (ذاكرة قراءة فقط للأقراص المضغوطة) مشفر عليها كل أدوار الذكاء. وبإدخال هذا القرص، يهب الحاسب الآلي فجأة

(1) آلان تورينج Alan Turing: (1912-1954م)، يوصف بأنه أعظم عالم بريطاني في القرن العشرين، حيث برع بشكل ملفت للنظر في العلوم والرياضيات والمنطق وتخصص في كتابة الشفرات وكسرها. ويمكن وصف (تورينج) أيضاً بأنه المؤسس لعلوم الحاسب الآلي الحديثة، فقدم جهازاً أطلق عليه اسم آلة تورينج وفيه وضع النواة الأولى لمفهوم الحوسبة واستخدام الخوارزميات، كما ساهم بقدر كبير في العمل على تطوير مفهوم الذكاء الاصطناعي ورسم صورة للتطبيقات التي يمكن استخدامها فيها. (المترجم)

إلى الحياة ويصبح ذكياً. أي أن هذه الـ CD - Rom الأسطورية تحتوي على كل البرامج اللازمة لصنع آلات ذكية.

وبالرغم من ذلك، لا يحتوي المخ على أي برمجة أو برامج على الإطلاق، لكنه أشبه (بشبكة عصبية)، أو مزيج معقد من الخلايا العصبية التي تعاود الاتصال ببعضها باستمرار.

تتبع الشبكات العصبية قانون (هيب): في كل مرة يُتخذ قرار صحيح، تتعزز قوة تلك المسارات العصبية. وهي ببساطة تفعل ذلك عن طريق تغيير قوة توصيلات كهربية معينة بين الخلايا العصبية في كل مرة تنجح في إنجاز مهمة. (يمكن التعبير عن قاعدة هيب باستخدام السؤال المعهود: كيف يستطيع العازف الوصول إلى مبنى (كارنيجي) Carnegie Hall؟ الإجابة: الممارسة ثم الممارسة ثم الممارسة. بالنسبة للشبكة العصبية، تثمر الممارسة عن نتائج رائعة. كما تفسر قاعدة (هيب) Hebb صعوبة التوقف عن العادات السيئة، حيث يكون المسار العصبي للعادة السيئة مترسخاً جيداً).

تعتمد الشبكات العصبية على طريقة بحث علمية من أدنى لأعلى (من المستوى الأبسط إلى الأعقد). فبدلاً من أن تتلقى كل قواعد الذكاء دون مجهود، فإنها تتعلمها كما يتعلمها الطفل الرضيع عن طريق الاصطدام بالأشياء والتعلم بالتجربة. وبدلاً من أن تخضع الشبكات العصبية للبرمجة، فإنها تتعلم بالطريقة التقليدية من خلال (مدرسة الاصطدامات القاسية). تختلف بنية الشبكات العصبية تماماً عن بنية الأجهزة الرقمية. إذا قمت بإزالة ترانزستور واحد من المعالج المركزي للحاسب الرقمي، فإن الجهاز

سوف ينهار. في حين أنك لو اقتطعت كتلة كبيرة من المخ، فإنه سيحتفظ بقدراته على العمل وستتولى الأجزاء الأخرى الاضطلاع بمهام الأجزاء المفقودة. إضافةً إلى ذلك، يمكن تحديد موقع (التفكير) في الحاسب الآلي الرقمي بدقة: المعالج المركزي. أما في العقل البشري، فيتضح من خلال عمليات المسح التي تجرى عليه أن التفكير ينتشر على نطاق أجزاء كبيرة منه. وتنير قطاعات مختلفة في تسلسل دقيق وكأن الأفكار يتم تقاذفها مثل كرة البينج بونج.

تستطيع أجهزة الحاسب الآلي الرقمية إجراء العمليات الحسابية بسرعة الضوء تقريباً. أما العقل البشري فهو على العكس من ذلك بطيء جداً. تنتقل النبضات العصبية ببطء لا يحتمل حيث تبلغ سرعتها نحو 200 ميل في الساعة. لكن المخ يعوض عن ذلك بل ويفوقه من خلال التوازي الهائل الذي يتسم به؛ حيث يحتوي على 100 مليار خلية عصبية تعمل في الوقت نفسه، وتؤدي كل خلية جزءاً من عملية حسابية صغيرة، وتتصل كل خلية بمئة ألف خلية عصبية أخرى. إذا أجرينا منافسة بين معالجين، فإن المعالج المتوازي شديد البطء يفوق المعالج الفردي فائق السرعة بمراحل. (يرجع السبب في هذا إلى اللغز القديم: إذا استطاعت قطعة واحدة أن تأكل فأراً واحداً خلال دقيقة واحدة، فكم من الوقت تستغرقه مليون قطعة لتأكل مليون فأراً؟ الإجابة هي: دقيقة واحدة).

بالإضافة إلى هذا، المخ ليس رقمياً. أجهزة الترانزستور هي عبارة عن بوابات يمكن إما فتحها وإما إغلاقها، ويمكن تمثيلها بالعددين 1 أو 0. الخلايا العصبية رقمية هي الأخرى (حيث تستطيع إصدار الإشارات أو

عدم إصدارها)، لكنها أيضا يمكن أن تصبح قياسية؛ بحيث تبث إشارات متواصلة بالإضافة إلى الإشارات المتقطعة.

## أجهزة الروبوت تعاني مشكلتين

بالنظر إلى جوانب القصور الواضح الذي تعاني منه أجهزة الحاسب الآلي إذا ما قارناها بالعقل البشري، يدرك الفرد السبب وراء عجز أجهزة الحاسب الآلي عن إنجاز مهمتين رئيسيتين يؤديهما البشر دون أدنى مجهود، وهما: التعرف على الأنماط والمعرفة البديهية. ظل إيجاد حل لهاتين المشكلتين يمثل تحديا على مدى نصف القرن الماضي. وهذا هو السبب الأساسي وراء عدم وجود روبوت يؤدي وظائف الخادمة ومدير المنزل والسكرتيرة.

المشكلة الأولى هي إدراك الأنماط. تستطيع أجهزة الروبوت الرؤية أفضل من البشر، لكنها لا تدرك ما تراه. عندما يسير الروبوت في غرفة، فإنه يحول الصورة إلى مجموعة مختلطة من النقاط. وبمعالجة هذه النقاط، يستطيع الروبوت التعرف على مجموعة من الخطوط والدوائر والمربعات والمستطيلات. ثم يحاول الروبوت أن يربط بين هذا المزيج عنصرا تلو الآخر مع تخزين كل عنصر في ذاكرته؛ وتعد هذه مهمة فائقة ومرهقة حتى بالنسبة للحاسب. وبعد ساعات عديدة من الحسابات، قد يطابق الروبوت هذه الخطوط بالمقاعد والطاولات والأشخاص. وعلى العكس من ذلك، عندما نسير نحن في غرفة، نتعرف خلال جزء من الثانية على المقاعد والطاولات والمكاتب والأشخاص. ومن ثم، يتضح أن عقولنا هي



بالفعل أجهزة للتعرف على الأنماط.

ثانياً، لا تتمتع أجهزة الروبوت بالمعرفة البديهية. فبالرغم من أن قدرتها على السمع أفضل من البشر، فإنها لا تستوعب ما تسمعه. انظر إلى العبارات التالية على سبيل المثال:

- يحب الأطفال الحلوى لا العقاب
- تستطيع الخيوط أو الأوتار الشد لا الدفع
- تستطيع العصي الدفع لا الشد
- تعجز الحيوانات عن التحدث باللغة الإنجليزية وفهمها
- يؤدي الدوران إلى الشعور بالدوار

تُعد كل هذه العبارات مجرد أمور بديهية بالنسبة لنا، لكنها ليست كذلك بالنسبة لأجهزة الروبوت. فلا يوجد في الروبوت فاصل منطقي أو برمجة تثبت أن الخيوط تستطيع الشد لا الدفع. لقد تعرفنا على حقيقة هذه العبارات (البديهية) عن طريق التجربة، لا لأنها مبرمجة في ذاكرتنا.

مشكلة الطريقة من أعلى إلى أدنى هي كثرة سطور أكواد المعرفة البديهية اللازمة لتقليد الفكر البشري. فمثلاً، يلزم مئات الملايين من سطور الأكواد لوصف قوانين المعرفة البديهية التي يعرفها طفل في عمر الست سنوات. يعبر (هانز مورافيك) Hans Moravec - المدير السابق لمعمل الذكاء الاصطناعي في (كارنيجي ميلون) Carnegie Mellon - عن أسفه قائلاً: (إلى يومنا هذا، لم تبدِ برامج الذكاء الاصطناعي أية بارقة للمعرفة البديهية؛ فمثلاً قد يصف برنامجاً للتشخيص الطبي مضاداً حيوياً عند عرض دراجة مكسورة عليه، لأنه يفتقر إلى نموذج الأشخاص أو الأمراض أو

الدراجات).

غير أن بعض العلماء يتشبثون بالاعتقاد القائل بأن العقبة الوحيدة أمام إجادة المعرفة البديهية هي القوة الغاشمة. فهم يشعرون أن مشروعاً جديداً من مشاريع منهناتن - مثل ذلك المشروع الذي ترتب عليه صنع القنبلة الذرية - سيحطم بلا شك مشكلة المعرفة البديهية. بدأ البرنامج المكثف لإنشاء هذه (الموسوعة الفكرية)، والذي يدعى CYC عام 1984. كان يُتَظَر من هذا البرنامج أن يصبح تنويجا لإنجازات الذكاء الاصطناعي، وأن يشقّر كل أسرار المعرفة البديهية في برنامج واحد. لكن بعد عقود طويلة من العمل الشاق، أخفق برنامج CYC في تحقيق أهدافه.

كان الهدف من CYC بسيطاً وهو إجادة (100 مليون معلومة - وهو ما يعادل تقريباً عدد المعلومات التي يعرفها الشخص العادي عن العالم - بحلول عام 2007). لكن هذه المهلة - وغيرها من المهلات السابقة - مضت سريعاً دون أن تثمر عن أي نجاح. وكانت كل مرحلة أساسية يخطط لها المهندسون في برنامج CYC تبدأ وتنتهي دون أن يحرز العلماء أي تقدم صوب إجادة جوهر الذكاء.

## الإنسان مقابل الآلة

سنحت لي الفرصة ذات مرة لأن أخوض منافسة ذكاء مع روبوت من صنع توماسو بوجيو Tomaso Poggio، الأستاذ بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا MIT. ورغم أن أجهزة الروبوت لا تستطيع التعرف على الأنماط البسيطة كما نفعل نحن، فقد استطاع (بوجيو) عمل برنامج

حاسب لديه القدرة على حساب كل شيء بنفس سرعة الإنسان في مجال محدد بعينه، وهو (المعرفة الفورية). يشير هذا المصطلح إلى قدرتنا البشرية العجيبة على الإدراك اللحظي للشيء حتى قبل أن نعي وجوده. (وكان للإدراك اللحظي أهمية كبيرة في تطورنا، حيث كان يملك أسلافنا جزءاً من الثانية فقط ليحددوا ما إذا كان هناك نمر متربص بين الشجيرات، حتى قبل أن يعوا وجوده تماماً). كانت تلك المرة الأولى التي يحرز فيها روبوت باستمرار درجات أعلى من الإنسان في اختبار محدد على الإدراك المرئي. كان السباق بيني وبين الجهاز بسيطاً جداً. في البداية، جلست على مقعد وأمعت النظر في شاشة حاسب آلي عادية. وبعد ذلك، أومضت صورة على الشاشة لجزء من الثانية، وكان من المفترض أن أضغط على أحد زرّين بأقصى سرعة ممكنة، لأعلن ما إذا كنت رأيت صورة حيوان أم لا. كان علي اتخاذ القرار في أسرع وقت ممكن، قبل أن تتاح لي الفرصة لاستوعب الصورة تماماً. وكان من المفترض أن يقرر الحاسب الآلي بشأن الصورة نفسها.

وحسبي حرجاً أنه بعد وابل من الاختبارات، تمكنت أنا والجهاز من التعادل تقريباً. لكن في بعض المرات كان الجهاز يحرز نتائج أفضل مني على نحو ملحوظ، ليميني بهزيمة ساحقة. لقد هزمتني آلة. (وكان عزائي ما سمعته عن أن الحاسب يجب بإجابات صحيحة بنسبة 82 في المئة، أما البشر، فيحققون في المتوسط نسبة 80 %).

السر في جهاز (بوجيو) هو أنه يقلد الدروس من (الطبيعة الأم). يدرك العلماء صحة العبارة القائلة: (طالما تم اختراع العجلة بالفعل، فلم لا

نقلدها؟). على سبيل المثال، عندما ينظر الروبوت عادةً إلى صورة، فإنه يحاول تقسيمها إلى سلسلة من الخطوط والدوائر والمربعات وغيرها من الأشكال الهندسية. لكن البرنامج الذي طوره (بوجيو) مختلف.

عندما ننظر إلى صورة، قد نرى أولاً مخططاً خارجياً للأجسام المختلفة، ثم نرى السمات المتنوعة داخل كل جسم، ثم نلاحظ التدرج في هذه السمات، إلخ. أي أننا نقسم الصورة إلى عدة طبقات. ما أن يعالج الحاسب الآلي إحدى طبقات الصورة، حتى يدمجها مع الطبقة التالية، ويستمر العمل على هذا المنوال. وبهذه الطريقة، يقلد - خطوة بخطوة وطبقة تلو الأخرى - الطريقة التسلسلية التي تتبعها عقولنا لمعالجة الصور. (لا يستطيع برنامج (بوجيو) الاضطلاع بكل أعمال التعرف على الأنماط التي نسلم بقدرتنا على فعلها، مثل تصوير الأشياء بشكل ثلاثي الأبعاد والتعرف على الأشياء من زوايا مختلفة، إلخ، لكن هذه بالفعل مرحلة تحول في التعرف على الأنماط).

ولاحقاً، أُتيحت لي الفرصة لأرى كلتا الطريقتين؛ الطريقة من أعلى إلى أدنى والطريقة من أدنى إلى أعلى قيد التفعيل. ذهبت أولاً إلى مركز الذكاء الاصطناعي في جامعة ستانفورد، حيث قابلت STAIR - وترمز هذه الأحرف الأوائلية إلى (روبوت الذكاء الاصطناعي من جامعة ستانفورد) أو Stanford artificial Intelligence robot - ويتبع المركز الطريقة من أعلى إلى أدنى. يبلغ طول STAIR نحو 4 أقدام، وله ذراع ميكانيكي ضخمة يستطيع الدوران حول محور وجلب الأشياء من فوق طاولة. اعتادت أجهزة الروبوت على جلب الأشياء بهذه الطريقة منذ ستينيات

القرن العشرين، ونرى مثل هذه الأجهزة في مصانع سيارات ديترويت. لكن المظاهر خادعة؛ حيث إن STAIR يستطيع فعل أكثر من هذا بكثير. بخلاف أجهزة الروبوت في ديترويت، لم تتم برمجة النصوص في STAIR. لكنه يعمل بنفسه. إذا طلبت منه أن يحضر لك برتقالة مثلاً، فإنه يستطيع تحليل مجموعة من الأجسام على الطاولة، ومقارنتها بآلاف الصور المخزنة بالفعل في ذاكرته، ثم يتعرف على البرتقالة ويلتقطها. كما أنه يستطيع التعرف على الأشياء بدقة أكبر عن طريق الإمساك بها وتفحصها.

لاختبار قدرة الروبوت، خلطت بين مجموعة من الأشياء على طاولة، ثم راقبت ما حدث بعد أن طلبت إحضار شيء معين. وجدت أن STAIR قد حلل الترتيب الجديد للأشياء ترتيباً صحيحاً، ثم توجه نحو الشيء المطلوب وأحضره. الهدف في النهاية هو جعل STAIR يتجول في بيتي المنزل والعمل ويلتقط الأشياء والأدوات المختلفة ويتعامل معها، وأن يتحدث مع الأشخاص ولو بلغة مبسطة. وبهذه الطريقة، سيتمكن من القيام بأي شيء يفعله الساعي في المكتب. يُعد STAIR مثلاً على الطريقة من أعلى إلى أدنى: فكل شيء مبرمج بداخله من البداية. (رغم قدرة STAIR على التعرف على الأشياء من زوايا مختلفة، فهو مقيد بعدد محدد من الأشياء التي يستطيع التعرف عليها. وسيصاب بحالة من الشلل إذا اضطر للسير خارجاً والتعرف على أجسام عشوائية).

ولاحقاً، واتنسي الفرصة لزيارة جامعة نيويورك، حيث يُجري (يان ليتشان) Yann LeCun تجربةً على تصميم جديد من نوعه، ويُدعى LAGR (اختصاراً للعبارة الإنجليزية Learning applied to ground robots) أو

(تطبيق التعليم على أجهزة الروبوت الأرضية). ويُعد LAGR مثلاً على الطريقة من أدنى لأعلى (التصاعدية): يجب أن يتعلم كل شيء من البداية، عن طريق مصادفة الأشياء. وهو في حجم سيارة الجولف الصغيرة ومزود بكاميرتين ستيريو بالألوان تقومان بمسح المنطقة المحيطة، والتعرف على الأجسام في مسارها. وبعد ذلك، يتحرك الروبوت بين هذه الأشياء - متجنباً الاصطدام بها - ويتعلم الطريق في كل مرة ينجح في المرور. والروبوت مزود بنظام تحديد المواقع العالمي GPS وبه جهاز استشعار للأشعة تحت الحمراء يستطيعان اكتشاف الأجسام التي يمر أمامها. كما يحتوي على ثلاث رقائق Pentium عالية الطاقة ويتصل بشبكة Earthnet (إيثرنت) تنقل البيانات بمعدل 1 جيجابت في الثانية. توجهنا إلى متنزه قريب يستطيع فيه الروبوت LAGR التجول حول عقبات مختلفة تم وضعها في طريقه. وفي كل مرة كان يعيد التحرك في المسار المحدد، كانت قدرته على تجنب العقبات تتحسن.

من الاختلافات المهمة بين LAGR و STAIR أن الأول تم تصميمه خصيصاً ليتعلم. فكل مرة يصادف فيها هذا الروبوت شيئاً، يجول حوله ويتعلم أن يتفادى هذا الشيء في المرة التالية. في حين تم تخزين آلاف الصور في ذاكرة STAIR، فإن LAGR تكاد تخلو ذاكرته من الصور، لكنه يصنع عوضاً عن ذلك خريطة ذهنية مع كل مرور له. وعلى عكس السيارة ذاتية القيادة - التي تتم برمجتها وتتبع مساراً محدداً لها مسبقاً عن طريق GPS - فإن LAGR يتحرك باستقلالية تامة، ودون تلقي أي تعليمات بشرية. ما عليك سوى إخباره بالوجهة التي تريدها، وسيقصدّها

مباشرةً. في نهاية المطاف، قد نجد مثل هذا الروبوت على كوكب المريخ وعلى أرض المعركة وفي منازلنا.

من ناحية، كنت منبهراً بحماس هؤلاء الباحثين وطاقاتهم. فهم يؤمنون في أعماق قلوبهم أنهم يضعون أساس الذكاء الاصطناعي، وأن عملهم سيؤثر في المجتمع ذات يوم بطرق لا نملك الآن أن نفهمها تماماً. لكن من منظور أبعد، كنت أقدر أيضاً أن الطريق أمامهم ما زال طويلاً. حتى الصرصور يستطيع التعرف على الأجسام ويتعلم كيف يتفادها. إننا لم نتخط بعد مرحلة تفوق أدنى مخلوقات (الطيعة الأم) ذكاءً على أفطن روبوت اخترعناه.

## المستقبل القريب (الوقت الحالي حتى 2030)

### الأنظمة الخبيرة

يملك الكثيرون في أيامنا هذه أجهزة روبوت في منازلهم تستطيع كنس البُسط. كما توجد أجهزة روبوت تعمل كحراس أمن تحرس المباني ليلاً، وكمرشدين، وعمال مصانع. وفي عام 2006، قُدِّر عدد أجهزة الروبوت الصناعية بالعدد 950 ألف روبوت وبلغ عدد أجهزة روبوت الخدمة التي تعمل في المنازل والمباني 3450 ألف روبوت. لكن خلال العقود المقبلة، قد يزدهر علم الروبوت ويسلك العديد من الاتجاهات. لكن تلك الأجهزة لن تشبه الروبوت الذي تصوره قصص الخيال العلمي.

وقد يقع التأثير الأكبر على ما يدعى الأنظمة الخبيرة؛ وهي عبارة عن برامج مشفرة عليها حكمة الجنس البشري وخبراته. كما رأينا في الفصل الأخير، قد نتحدث يوماً إلى الإنترنت عبر شاشات الحائط ونتجاذب أطراف الحديث مع الوجه المألوف الذي يتميز به الطبيب الآلي أو المحامي الآلي.

ويطلق على هذا المجال المنهج التجريبي؛ وهو يشير إلى اتباع نظام منهجي قائم على قواعد محددة. عندما نريد التخطيط لعطلة، سنتحدث إلى الوجه الظاهر على شاشة الحائط ونطلعه على خياراتنا المفضلة لقضاء العطلة: المدة الزمنية والوجهة والفنادق ونطاق السعر. سيكون النظام الخبير على علم مسبق بخياراتنا المفضلة من خلال التجارب السابقة، ومن



ثم، سيتصل بالفنادق وشركات الطيران وغيرها، ثم يمنحنا الخيار الأمثل. لكن بدلاً من التحدث إليه على نحو ودي وثرثار، فسنضطر إلى استخدام لغة رسمية ونمطية بعض الشيء يستطيع البرنامج فهمها. ويستطيع مثل هذا النظام الاضطلاع بأي عدد من الواجبات المفيدة بسرعة. ما عليك سوى أن تعطيه الأوامر، وسيقوم هو بالحجز في المطعم والبحث عن مواقع المتاجر وطلب البقالة والأطعمة السريعة وحجز تذكرة الطيران، إلخ.

يرجع الفضل إلى التقدم الذي تم إحرازه في المنهج التجريبي في امتلاكنا لبعض محركات البحث البسيطة التي نستخدمها حالياً. لكنها ما زالت تفتقد إلى البراعة. ويتضح للجميع أننا نتعامل مع آلة وليس مع إنسان. غير أن أجهزة الروبوت في المستقبل ستصل إلى درجة من التعقيد تجعلها تبدو وكأنها بشرية، حيث ستعمل بانسيابية وبفارق بسيط عن البشر وبكثير من الرقي.

ولعل أكثر التطبيقات عملية سيكون مجال الرعاية الطبية. على سبيل المثال، إذا شعرت بالتعب في الوقت الحاضر، فقط تضطر إلى الانتظار لساعات في غرفة الطوارئ قبل أن يتم عرضك على الطبيب. أما في المستقبل القريب، فقد تتوجه ببساطة إلى شاشة الحائط وتحدث إلى الطبيب الآلي. ستتمكن من تغيير وجه الطبيب الآلي الذي تراه وحتى شخصيته. مجرد ضغط زر. سي طرح عليك الوجه الودود الذي تراه على شاشة الحائط مجموعة من الأسئلة البسيطة: كيف تشعر؟ ما الذي يؤلمك؟ متى بدأ الألم؟ كم مرة يعاودك هذا الشعور بالألم؟

في كل مرة، ستجيب عن طريق الاختيار من بين مجموعة بسيطة من

الإجابات. وستجيب لا عن طريق الكتابة على لوحة المفاتيح، وإنما عن طريق التحدث.

وستمهد كل إجابة بدورها إلى المجموعة التالية من الأسئلة. وبعد سلسلة من مثل هذه الأسئلة، سيتمكن الطبيب الآلي من تشخيص حالتك بناءً على أفضل الخبرات المستمدة من أطباء العالم. سيحلل الطبيب الآلي كذلك البيانات التي يتلقاها من حمامك وملابسك وأثاثك، التي تراقب صحتك باستمرار من خلال رقاقت DNA. وقد يطلب منك أن تفحص جسدك باستخدام ماسح MRI (التصوير بالرنين المغناطيسي) محمول، لتقوم أجهزة الحاسب الآلي الفائقة بتحليله بعد ذلك. (توجد بالفعل بعض الإصدارات البدائية من برامج المنهج التجريبي هذه، مثل WebMD، لكنها تفتقر إلى الفروق الطفيفة والطاقة الكاملة التي يتميز بها المنهج التجريبي). وبهذه الطريقة، يمكن الاستغناء عن أغلب الزيارات التي نقوم بها إلى عيادة الطبيب، مما يخفف العبء الواقع على نظام الرعاية الصحية. إذا كانت المشكلة خطيرة، فسينصحك الطبيب الآلي بالتوجه إلى المستشفى، حيث يوفر أطباء بشريون رعاية مكثفة. لكن حتى في المستشفى، سترى برامج ذكاء اصطناعي في صورة ممرضين آليين، مثل (أسيمو). هؤلاء الممرضون الآليون ليسوا أذكىء بالفعل، لكنهم يستطيعون التنقل بين غرف المستشفى وإعطاء العلاج الصحيح للمرضى والسهر على احتياجاتهم. وهم يستطيعون التنقل على قضبان ممتدة على الأرض أو الحركة باستقلال مثل (أسيمو).

ويوجد بالفعل ممرض آلي - وهو الروبوت النقال 6- RP - يتم نشر

استخدامه في المستشفيات مثل (المركز الطبي لجامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس) UCLA. وهو عبارة أساساً عن شاشة تلفاز تستقر أعلى حاسب نقال يتحرك على بكرات دوارة. وتعرض شاشة التلفاز فيديو لوجه طبيب حقيقي قد يكون على بُعد أميال. وتوجد كاميرا في الروبوت تسمح للطبيب برؤية ما ينظر إليه الروبوت. كما يوجد ميكروفون يستطيع الطبيب من خلاله التحدث إلى المريض. يستطيع الطبيب التحكم عن بُعد في الروبوت باستخدام عصا للتحكم، والتفاعل مع المرضى، ومراقبة العقاقير، إلخ. نظراً لأنه تتم إحالة خمسة ملايين مريض في الولايات المتحدة إلى وحدات الرعاية المكثفة سنوياً، في حين لا يوجد سوى 6000 طبيب مؤهل للتعامل مع مرضى الحالات الحرجة، فقد تفيد مثل أجهزة الروبوت هذه في التخفيف من حدة الأزمة في رعاية الطوارئ، حيث يتولى طبيب واحد رعاية العديد من المرضى. في المستقبل، قد تكتسب مثل أجهزة الروبوت هذه مزيداً من الاستقلالية؛ بحيث تتمكن من التنقل بنفسها والتفاعل مع المرضى.

تُعد اليابان إحدى الدول الرائدة في العالم في هذه التكنولوجيا. وهي تنفق أموالاً طائلة على أجهزة الروبوت لتدارك الأزمة الوشيكة في مجال الرعاية الطبية. بالنظر إلى أحداث الماضي، لن تتعجب من أن تحتل اليابان صدارة الأمم في علم الروبوت، ويرجع ذلك لأسباب عدة. أولاً، في ديانة (شينتو) Shinto، يُعتقد أن الجمادات تسكنها الأرواح. حتى الجمادات الآلية. في الغرب، قد يصرخ الأطفال رعباً لدى رؤيتهم أجهزة الروبوت، وخاصةً بعدما شاهدوا العديد من الأفلام عن الآليين الثائرين القتلة.

أما بالنسبة لأطفال اليابان، فأجهزة الروبوت تمثل أرواحاً قريية ومرحة ومفيدة. في اليابان، من الشائع أن ترى موظفي استقبال آيين يلقون عليك التحية عند دخولك المتاجر الكبيرة للبيع بالتجزئة. ففي الواقع، تمتلك اليابان 30 % من إجمالي أجهزة الروبوت التجارية في العالم.

ثانياً، تواجه اليابان كابوساً سكانياً؛ حيث تعاني من أسرع شيخوخة سكانية. انخفض معدل المواليد انخفاضاً مفاجئاً إلى 1.2 طفل للأسرة الواحدة، ولم تعد الهجرة في الحسبان. يرى بعض علماء إحصاء السكان أنهم يشهدون تصادم قطارين بالحركة البطيئة: هناك قطار سكاني (ارتفاع أعمار السكان وانخفاض معدل المواليد) على وشك الاصطدام بقطار آخر (انخفاض معدل الهجرة) خلال السنوات المقبلة. (وقد يحدث التصادم نفسه في أوروبا أيضاً في نهاية المطاف). سينعكس هذا بشدة على المجال الطبي، حيث سيكون استخدام ممرض آلي على نمط (أسيمو) أمراً مفيداً. تُعد أجهزة الروبوت، مثل (أسيمو)، مثالية للاضطلاع بمهام المستشفيات، مثل جلب الأدوية وإعطاء العقاقير ومراقبة المرضى على مدار اليوم.

## منتصف القرن (من عام 2030 وحتى 2070)

### أجهزة الروبوت التركيبية

بحلول منتصف القرن، قد يعج عالمنا بأجهزة الروبوت، لكننا قد لا نلاحظ وجودها. ذلك أن أغلب أجهزة الروبوت لن تظهر بشكل بشري. لكنها قد تختبئ عن الأنظار، لتتكر في هيئة ثعابين وحشرات وعناكب، وتؤدي مهام بغیضة لكن مهمة. ستكون هذه هي أجهزة الروبوت التركيبية التي تستطيع تغيير شكلها وفقا للمهمة التي تؤديها.

سنحت لي الفرصة لألتقي بأحد الرواد في صناعة أجهزة الروبوت التركيبية، وهو (ويمين شين) Weimin Shen، الأستاذ بجامعة كاليفورنيا الجنوبية University of Southern California. وفكرته هي عمل وحدات نمطية من مكعبات صغيرة يمكن التبديل بينها كالوحدات البنائية في لعبة الليجو وإعادة تجميعها حسب الرغبة. ويُطلق عليها أجهزة الروبوت متعددة الأشكال حيث تستطيع تغيير شكلها وبنيتها الهندسية ووظيفتها. وفي معمله، أدركت على الفور الفرق بين طريقته، وتلك الطريقة المتبعة في ستانفورد أو MIT. في ظاهر الأمر، كان كلا المعلمين يشبهيت اللعب الذي يحلم به الطفل حيث ترى أجهزة روبوت متحركة ومتحدثة في كل مكان حولك. عندما زرت معلمي الذكاء الاصطناعي في ستانفورد وMIT، رأيت مجموعة متنوعة من (الدمى) الآلية المزودة برفاقات وتتمتع بقدر من الذكاء. وكانت طاولات العمل تعج بالطائرات وطائرات الهليكوبتر والشاحنات الآلية،

بالإضافة إلى أجهزة روبوت على شكل حشرات بداخلها رقاقات، وكانت جميعها تتحرك باستقلالية؛ حيث يمثل كل روبوت وحدة متكاملة بذاتها.



أنواع مختلفة من أجهزة الروبوت: *LAGR* (الصورة العلوية) و *STAIR* (أسفل اليسار) و *ASIMO* (أسفل اليمين).

بالرغم من الزيادة الهائلة في قدرة الحاسب الآلي، فإن أجهزة الإنسان الآلي أو الروبوت هذه لا تتعدى ذكاء الصرصور.

لكن عندما تدخل إلى معمل جامعة كاليفورنيا الجنوبية USC، ستشاهد شيئاً مختلفاً تماماً. ستشاهد مربعات من الوحدات المكعبة، تصل مساحة كل واحدة منها إلى 2 بوصة مربعة، حيث يمكنها أن تتحد أو تنفصل وتسمح لك بإنشاء العديد من الكائنات الشبيهة بالحيوانات. على سبيل المثال، يمكنك إنشاء ثعابين تسعى واحداً تلو الآخر أو إنشاء حلقات يمكنها أن تدور كالطوق. وباستطاعتك أن تركّب هذه المكعبات معا أو تثبتها باستخدام مفصلات على شكل حرف Y بحيث تنشئ مجموعة جديدة تماماً من الأجهزة تشبه الأخطبوطات أو العناكب أو القطط أو الكلاب. تخيل مجموعة ذكية من مكعبات الليجو تتسم كل وحدة بنائية فيها بالذكاء والقدرة على إعادة ترتيب نفسها في أي شكل يمكن أن تتخيله.

تتجلى فائدة أجهزة الروبوت هذه في تخطي أية عوائق تعترضها. إذا كان الروبوت، الذي يتخذ شكل عنكبوت، يزحف في نظام الصرف الصحي، وصادف جداراً، فسيبحث أولاً عن حفرة صغيرة في هذا الجدار، ثم يفك نفسه. وسيمر كل جزء منه عبر الفتحة، ثم تعيد هذه الأجزاء تركيب نفسها على الجانب الآخر من الجدار. وبهذه الطريقة، لا شيء تقريباً سيتمكن من ردع أجهزة الروبوت التركيبية هذه، لكنها ستحايل على أغلب العقبات التي تواجهها.

قد تلعب أجهزة الروبوت التركيبية دوراً مهماً في إصلاح البنية التحتية المتهاوية. على سبيل المثال، تعرض كوبري نهر الميسيسيبي في مدينة مينابولي للانهدام عام 2007، مما أسفر عن مقتل 13 شخصاً وإصابة 145 آخرين؛ ربما لأن الكوبري كان متقادماً ومحملاً بأكثر من طاقته، وشاب تصميمه

بعض العيوب. هناك أيضا مئات الحوادث المشابهة توشك أن تقع في أرجاء البلاد، لكن مراقبة كل كوبري معرض للانهييار وترميمه ستتكلف أموالاً طائلة. وهنا يأتي دور أجهزة الروبوت التركيبية في الإنقاذ، لتفحص في هدوء الكباري والطرق والأنفاق والأنابيب ومحطات الطاقة، وتجري إصلاحات عند الضرورة. (على سبيل المثال، عانت الكباري في مدينة مانهاتن الواقعة أقصى الجنوب الأمرين جرّاء التآكل والإهمال والافتقار إلى التصليحات. بلغ الأمر أن أحد العاملين عثر على زجاجة كوكاكولا تم إنتاجها خلال خمسينيات القرن العشرين ملقاة على الكوبري منذ آخر مرة تم طلاء الكباري فيها. في الواقع، أوشك أحد أجزاء كوبري مانهاتن على خطر الانهييار مؤخرا، وكان يجب إغلاقه للإصلاح).

## جراحون وطهاة آليون

يمكن استخدام أجهزة الروبوت لتقوم بدور الجراحين والطهاة والموسيقين. من العناصر المهمة التي تقيد مجال الجراحة، براعة اليد البشرية ودقتها. فالجراحون - شأنهم شأن جميع البشر - يصيبهم الإرهاق بعد عدة ساعات، وتقل كفاءتهم؛ لترتجف أيديهم. لكن أجهزة الروبوت تستطيع أن تتدارك تلك المشكلات.

على سبيل المثال، تشمل الجراحات التقليدية لإجراء عملية مجازة القلب (القنطرة) فتح شق بطول قدم في منتصف الصدر، ويتطلب ذلك تخديرا كليا. كما أن إجراء فتح في التجويف الصدري يزيد من احتمالية حدوث تلوث، وطول فترة النقاهة، ويُحدث ألما شديدا وتعبا أثناء عملية التعافي،



بل ويترك ندبا مشوهة. لكن مع نظام الروبوت (دا فينشي) Da Vinci، تقل هذه السلبيات بدرجة كبيرة. فهذا الروبوت له أربع أذرع آلية، واحدة للتعامل مع كاميرا الفيديو، وثلاثة لإجراء جراحة دقيقة. وبدلاً من إجراء شق طويل في الصدر، فهو يقوم بعمل العديد من الفتحات الدقيقة في جانب جسم المريض. ويستعين بهذا النظام ما يقرب من 800 مشفى في أوروبا والأمريكتين الشمالية والجنوبية، وقد تم إجراء 48000 عملية في عام 2006 فقط باستخدام هذا الروبوت. كما يمكن إجراء عمليات جراحية من خلال التحكم عن بُعد عبر الإنترنت؛ بحيث يستطيع أحد الجراحين العالميين في مدينة إجراء عملية جراحية لمريض في منطقة ريفية نائية في قارة أخرى.

وفي المستقبل، ستكون الإصدارات الأكثر تقدماً من هذه الأجهزة قادرة على إجراء جراحات في الأوعية الدموية المجهرية، والألياف العصبية، والأنسجة من خلال استخدام المشارط والملاقيط والإبر المجهرية التي يستحيل استخدامها الآن. بل سيكون من النادر في المستقبل أن يحدث الجراح أي شق في الجلد على الإطلاق، وستكون القاعدة عندئذ هي إجراء العمليات دون إحداث فتح جراحي.

ستكون المناظير الداخلية (أنايبس طويلة يتم إدخالها في الجسم ويمكن أن تضيء الأنسجة وتقطعها) أدق من الخيط. وستقوم أجهزة مصغرة أدق حجماً من النقطة التي تنتهي بها هذه الجملة بالكثير من العمل الآلي. (في إحدى حلقات مسلسل Star Tek الأصلي، شاهدنا دكتور (ماك كوي) McCoy، وهو يثور ضد لجوء الأطباء في القرن العشرين إلى إحداث قطع

في الجلد). لقد أوشك اليوم الذي سيصبح فيه هذا واقعا. سيتعلم طلبة الطب في المستقبل اقتطاع صور افتراضية ثلاثية الأبعاد للجسم البشري، حيث يقلد روبوت في حجرة أخرى كل حركة تؤديها اليد.

أبدى اليابانيون تفوقا في تصنيع أجهزة روبوت يمكنها التفاعل اجتماعيا مع البشر. في مدينة (ناجويا) Nagoya، على سبيل المثال، نجد الطاهي الآلي الذي يمكنه إعداد عشاء سريع قياسي في بضع دقائق. يمكنك ببساطة أن تضغط على الأزرار وتختار ما تريد من القائمة ليقوم الطاهي الآلي بإعدادها أمام عينيك. وحيث إن الشركة القائمة على تصميمه هي شركة (آيسي) Aisei لتصنيع أجهزة الروبوت، فهو يستطيع طهي النودلز في دقيقة و40 ثانية، ويمكنه تقديم 80 طبقا في يوم عمل. وهذا النوع من الروبوت يشبه كثيرا أجهزة الروبوت الموجودة في خطوط تجميع السيارات في ديترويت. فهو لديه ذراعان آليان كبيران، مبرمجان على التحرك في تسلسل معين. وبدلاً من ربط المعدن ولحامه في المصانع، فإن هذه الأصابع الآلية تجلب المكونات من سلسلة من الأطباق تحتوي على التتبيلة واللحم والدقيق والصوص والبهارات، وغيرها. ثم تقوم أيدي الروبوت بمزجها ثم تجميعها في شطيرة أو سلطة أو حساء. يبدو الطاهي الذي ابتكرته شركة (آيسي) كالروبوت المزود بيدين كبيرتين تخرجان من طاولة المطبخ. لكن النماذج الأخرى من أجهزة الروبوت التي يتم التخطيط لتصنيعها ستبدو أشبه بالإنسان.

وفي اليابان أيضا، أنشأت (تويوتا) Toyota جهاز روبوت يجيد العزف

على آلة الكمان تقريبا مثل أي عازف محترف. وهو يشبه الروبوت (أسيمو) باستثناء أنه يمسك بالكمان ويتمايل على أنغام الموسيقى، ثم يعزف مقطوعات صعبة على الكمان برقة شديدة، فيخرج الصوت حقيقيا على نحو مذهل ويستطيع الروبوت عمل إيماءات رائعة يحاكي بها الموسيقي الماهر. وعلى الرغم من أن الموسيقى ليست على مستوى عازف كمان في الحفلات الموسيقية، فإنها جيدة بما يكفي لإمتاع الجمهور. وبالطبع كان لدينا في القرن الماضي أجهزة بيانو آلية تعزف نغمات مسجلة على أقراص دوارة كبيرة. وكما هو الحال مع أجهزة البيانو هذه، فإن جهاز (تويوتا) مبرمج أيضا. لكن يكمن الاختلاف في أن الأخير مصمم خصيصا ليحاكي جميع الأوضاع والحالات الخاصة بعازف الكمان الحقيقي بطريقة غاية في الواقعية.

وفي جامعة (واسيدا) Waseda أيضا في اليابان، صمم العلماء عازف فلوت آلي. وهذا الروبوت يشتمل بدوره على غرف مخوفة في صدره، أشبه بالرئتين تدفع الهواء عبر فلوت حقيقي. وهو يستطيع أن يعزف مقطوعات موسيقية صعبة جدا مثل (The Flight of the Bumblebee)، لكننا يجب أن نوّكد على حقيقة أن هذه الأجهزة لا يمكنها أن تتكرر مقطوعات موسيقية جديدة، لكنها تستطيع أن تتحدى الإنسان في قدرتها على العزف.

إن الروبوت الطاهي والروبوت العازف مصممان بعناية، ويعملان وحدهما بشكل مستقل. وعلى الرغم من أن هذه الأجهزة معقدة جدا مقارنة بأجهزة البيانو القديمة، فإنها مازالت تعمل وفقا لقواعد. أما أجهزة

الروبوت التي تقوم بدور النادل أو الخادم فما زالت في المستقبل البعيد. وبالنسبة للأجيال المستقبلية من الروبوت الطاهي والروبوت عازف الكمان وعازف الفلوت، فرمما تجد نفسها وقد دخلت حياتنا وأصبحت تؤدي وظائف أساسية كانت مقتصرة ذات يوم على البشر.

## أجهزة الروبوت العاطفية

بحلول منتصف القرن القادم، ربما يأتي عصر أجهزة الروبوت العاطفية. لقد جنح المؤلفون بخيالهم في الماضي في تصوير أجهزة روبوت تتوق لأن تتحول إلى بشر وتمتلك مشاعر وانفعالات بداخلها. على سبيل المثال، في فيلم (بينوكيو) Pinocchio، نرى دمية خشبية تُدعى (بينوكيو) تتحول إلى ولد حقيقي. وفي فيلم (ساحر أوز) Wizard of Oz، يريد الرجل الصفيح أن يحصل على قلب، بينما نرى الإنسان الآلي (داتا) Data في Star Trek: The Next Generation، وهو يحاول أن يصدر انفعالات من خلال ترديد النكات وأن يفهم السبب الذي يجعلنا نضحك. تتردد في قصص الخيال العلمي فكرة أنه على الرغم من أن أجهزة الروبوت ربما تزداد ذكاءً، فإنها ستفتقر دائماً إلى جوهر المشاعر. في الحقيقة، قد تصبح أجهزة الروبوت يوماً ما أكثر ذكاءً منا - وفقاً لما أعلنه بعض مؤلفي الخيال العلمي - لكنها لن تكون قادرة على البكاء.

لكن هذا الرأي قد يجانبه الصواب. فالعلماء الآن يعكفون على فهم الطبيعة الحقيقية للمشاعر. بادئ ذي بدء، إن المشاعر تخبرنا عما يصلح لنا وما يضر بنا. والغالبية العظمى للأشياء في هذا العالم إما ضارة وإما غير

ذات نفع كبير. فعندما نختر مشاعر (الإعجاب)، نستطيع أن نحدد جزءا يسيرا من الأشياء المفيدة لنا في البيئة.

لقد تطورت داخلنا المشاعر بألوانها (من كره أو غيرة أو خوف أو حب وما شابه) عبر ملايين السنين لحمايتنا من أخطار العالم المعادي لنا، ومساعدتنا في حفظ النوع. وكل لون من ألوان المشاعر هذه يساعدنا في نقل الجينات الخاصة بنا إلى الجيل التالي.

لقد تمكّن طبيب الأمراض العصبية (أنتونيو داماسيو) Antonio Damasio بجامعة جنوب كاليفورنيا، والذي عكف على تحليل ضحايا الإصابات أو الأمراض العقلية، من فهم الدور الحيوي للمشاعر في تطورنا. إذ إنه في بعض من هؤلاء المرضى، يكون الرابط بين الجزء المفكر من عقولهم (قشرة الدماغ) والمركز العاطفي (الكائن في مركز العقل، مثل اللوز الدماغية) مقطوعا. وهؤلاء الأشخاص طبيعون تماما، باستثناء أنهم يجدون صعوبة في التعبير عن مشاعرهم.

ثمة مشكلة أصبحت واضحة في هؤلاء المرضى بشكل مباشر، ألا وهي أنهم لا يستطيعون أن يتخذوا قرارات. فالتسوق كابوس مؤلم بالنسبة لهم؛ لأن كل الأشياء تستوي في قيمتها عندهم، سواء أكانت باهظة أم زهيدة الثمن، مبهجة أم راقية. كما أن تحديد موعد يبدو مستحيلا لديهم؛ حيث إن جميع التواريخ في المستقبل سواء. باختصار، يبدو أن هؤلاء المرضى - وفقا لما يراه داماسيو - (يعرفون، لكنهم لا يشعرون).

لتبسيط هذا المفهوم، نستطيع القول بأنه من بين الأهداف الرئيسة للمشاعر أنها تمنحنا قيما حتى نستطيع أن نقرر ما هو مهم وما هو غالٍ،

وما هو لطيف، وما هو نفيس. وفي غياب المشاعر، تستوي الأشياء في قيمتها، ونقف مكتوفي الأيدي أمام قرارات لا نهائية لأن كلاً منها يمثل الأهمية نفسها بالنسبة لنا. لذا، فإن العلماء يبدؤون الآن في فهم أن المشاعر البعيدة عن الترف أساسية للذكاء.

فالذي يشاهد Star Trek، على سبيل المثال، ويرى (سبوك) Spock و(داتا) Data وهما من المفترض أن يؤديا وظائفهما دون أي مشاعر، سيعرف موطن الخطأ في الحال. ففي كل حركة، يعبر فيها (سبوك) و(داتا) عن مشاعرهما، يقومان بعمل سلسلة طويلة من الأحكام التقديرية. وهما يقرران أن البقاء كضباط أمرٌ ضروري، وأنه مهمٌ لأداء مهام معينة، وأن هدف (الفيدرالية) نبيل في جوهره، وأن حياة البشر غالية وأمور من هذا القبيل. ويتضح من هذا أن من يعتقد بوجود ضابط مجرد من المشاعر شخص واهم.

قد تكون أجهزة الروبوت العاطفية أيضاً خطأ فاصلاً بين الحياة والموت. وفي المستقبل، قد يتمكن العلماء من إنشاء أجهزة روبوت إنقاذية، يتم إرسالها إلى الحرائق والزلازل والانفجارات؛ ذلك أنها تستطيع أن تجري آلاف الأحكام التقديرية عن الشخص والشيء الذي ستتولى إنقاذه وبأي ترتيب يتم الإنقاذ. وبعد بحث التدمير المحيط بها، يتعين عليها تصنيف المهام المختلفة التي تواجهها حسب الأولوية.

تُعد المشاعر أيضاً مهمة إذا ما استعرضنا تطور العقل البشري. وإذا نظرنا إلى السمات التشرحية الهائلة للعقل، سنلاحظ أنها يمكن أن تدرج تحت ثلاث فئات كبيرة.

أولاً، لدينا العقل الزاحف الموجود بالقرب من قاعدة الجمجمة، والذي يشكل السواد الأعظم من عقل الزواحف. وهذا الجزء من العقل مسؤول عن التحكم في وظائف الحياة الأساسية، مثل التوازن والعدوان والإقليمية والبحث عن الطعام، إلخ. (وفي بعض الأحيان، عند التحديق في ثعبان يبادل لك التحديق هو الآخر، يساورك شعورٌ بالخوف. وحينئذ تتساءل، ما الذي يفكر فيه الثعبان؟ إذا صحت هذه النظرية، فإن الثعبان لا يفكر كثيراً على الإطلاق، سوى فيما إذا كنت غداً مناسباً له من عدمه).

وبالنظر إلى الكائنات العليا، نرى أن العقل قد توسع عند الجزء الأمامي من الجمجمة. وعلى المستوى التالي، نجد أن عقل القرد أو الجهاز الطرفي موجود في وسط العقل؛ فهو يشتمل على أجزاء مثل اللوز، تشترك في معالجة المشاعر. والحيوانات التي تعيش في مجموعات لديها جهاز طرفي مطور جيداً على نحو استثنائي. وهذه الحيوانات الاجتماعية، التي تخرج للصيد في جماعات، تحتاج درجة أعلى من القدرة العقلية المخصصة لفهم قواعد الجماعة. وحيث إن النجاح في الحياة البرية يعتمد على التعاون مع الآخرين، وبما أن تلك الحيوانات لا يمكنها التحدث، فهذا يعني أنه يتعين عليها أن توصل حالتها العاطفية عن طريق لغة الجسد والإيماءات وإطلاق أصوات مثل الخفخفة والعواء.

وأخيراً، لدينا الطبقة الأمامية والخارجية من العقل، ألا وهي القشرة الدماغية؛ تلك الطبقة التي تعرّف الإنسانية وتحكم التفكير المنطقي. وفي حين أن الحيوانات الأخرى تتحكم فيها الغريزة والوراثة، فإن البشر يستخدمون القشرة الدماغية للحكم على الأشياء.

وإذا صح هذا التقدم الارتقائي، فهذا يعني أن المشاعر ستلعب دورا حيويا في إنشاء أجهزة روبوت مستقلة. لقد صُممت أجهزة الروبوت حتى الآن كي تحاكي عقل الزواحف فقط؛ فهي تستطيع المشي والبحث عما يحيط بها والتقاط الأشياء، لكنها ليست مؤهلة للقيام بأكثر من ذلك. وعلى الجانب الآخر، تُعد الحيوانات الاجتماعية أكثر ذكاءً من الحيوانات التي لها عقل زاحف. فالمشاعر مطلوبة حتى يصبح الحيوان اجتماعيا، وحتى يتمكن من الإلمام بقواعد الجماعة. لذا، فالطريق طويل أمام العلماء قبل أن يستطيعوا محاكاة الجهاز الطرفي والقشرة الدماغية.

وبالفعل، فقد استطاعت عالمة (سينثيا بريازيل) Cynthia Breazeal في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا MIT إنشاء جهاز روبوت مصمم خصيصا لمعالجة تلك المشكلة. هذا الروبوت يُدعى (كيسميت) KISMET وله وجه يشبه الجنى العابث. ومن الوهلة الأولى، يبدو كما لو كان حيا؛ فهو يستجيب لك بتحريك قسما وجهه تعبيرا عن مشاعره. ويمكنه التعبير عن مجموعة هائلة من المشاعر عن طريق تغيير تعبيرات وجهه. وفي الحقيقة، فإن السيدات، اللاتي يتفاعلهن مع هذا الروبوت الذي يبدو أشبه بالطفل، غالبا ما يتحدثن إليه بطريقة يغلب عليها طابع الأمومة؛ أي أنهن يستخدمن المصطلحات التي تستخدمها الأمهات عند الحديث إلى الرضع والأطفال. وعلى الرغم من أن أجهزة الروبوت من نوع (كيسميت) مصممة لمحاكاة المشاعر، فإن العلماء على يقين من أن الروبوت يشعر فعليا بتلك المشاعر. فهو إلى حد ما أشبه بمسجل الشرائط المبرمج على ألا يصدر أصواتا، لكنه يرسم تعبيرات وجهية دون أي وعي بما يفعله. لكن



يكمن التقدم المحقق في الروبوت (كيسميت) في أن الأمر لا يحتاج إلى كثير من البرمجة لإنشاء جهاز روبوت يحاكي مشاعر البشر ويستجيب لها الإنسان.

عما قريب ستجد أجهزة الروبوت العاطفية هذه طريقا لها في منازلنا. لكنها لن تقوم مقام الصديق المقرب أو السكرتير أو الخادمة، كل ما هنالك أنها تستطيع تنفيذ إجراءات تستند إلى قواعد اعتمادا على الحدس أو التوقع المبني على المنهج التجريبي. وبحلول منتصف القرن القادم، ربما يرتفع ذكاء مثل هذه الأجهزة إلى مستوى ذكاء كلب أو قط. فهي تستطيع التعبير عن الرباط العاطفي الذي يربطها بسيدها، مثلها في ذلك مثل الحيوان الأليف، وبالتالي لا يمكن الاستغناء عنها بسهولة. لكنك لن تستطيع التحدث إليها بالإنجليزية العامة؛ لأنها لا تفهم سوى الأوامر المبرمجة، ربما المئات منها. وإذا أمرتها أن تفعل شيئا غير مخزن بالفعل في ذاكراتها مثل (اذهب للعب بطائرة ورقية في الهواء)، فستعلو وجهها علامات الاستغراب والارتباك. وإذا تمكنت أجهزة الروبوت التي تتخذ شكل قطط وكلاب من مضاعفة النطاق الهائل من استجابات الحيوانات، والتي يتعذر تمييزها عن سلوك الحيوانات الحقيقي، فإن السؤال الذي يطرح نفسه الآن هو هل يُعد ذكاء تلك الحيوانات الآلية في مثل ذكاء مثل كلب أو قط عادياً).

أجرت شركة Sony (سوني) اختبارات على أجهزة الروبوت العاطفية عند تصنيعها الكلب الآلي (آيو) AIBO (جهاز روبوت مزود بذكاء اصطناعي). كان هذا الروبوت أول لعبة تستجيب حقيقيا نحو سيدها من الناحية العاطفية، حتى وإن كان ذلك بدائيا. على سبيل المثال، إذا دلت

الكلب (آيبو) على ظهره، فسيبدأ هذا الحيوان الآلي على الفور في إصدار غمغمة وإطلاق بعض الأصوات اللطيفة. وهو يمكنه المشي والاستجابة للأوامر الصوتية، بل والتعلم إلى حد ما، لكن لا يمكنه تعلم مشاعر جديدة أو التجاوب عاطفيا مع الطرف الآخر. (وقد توقف العمل فيه عام 2005 لأسباب مالية، لكنه كان سببا بعد ذلك في قيام إحدى المجموعات الموثوق فيها بتطوير برنامج الحاسب الآلي الخاص به بحيث يستطيع (آيبو) أن يؤدي المزيد من المهام). وفي المستقبل، سيكون من الشائع أن تجد حيوانات أليفة آلية ترتبط بالأطفال عاطفيا.

وعلى الرغم من أن هذه الحيوانات الآلية ستكون محملة بمجموعة هائلة من المشاعر وستبني جسورا من المودة العميقة مع الأطفال، فإنها لا تشعر بمشاعر فعلية.

## الهندسة العكسية للعقل

بحلول منتصف القرن القادم، يجب أن نكون قادرين على استكمال الحدث التالي المهم في تاريخ الذكاء الاصطناعي: ألا وهو الهندسة العكسية للعقل البشري. وعلى الرغم من شعور العلماء بالإحباط لعدم استطاعتهم إنشاء روبوت مصنوع من السليكون والصلب، فهم يحاولون أيضا في الاتجاه العكسي تحليل العقل، خلية عصبية تلو الأخرى - تماما مثلما يقوم الميكانيكي بتحليل وتفكيك الموتور، مسمارا تلو الآخر - ثم يقومون بتشغيل محاكاة تلك الخلايا العصبية على جهاز حاسب آلي ضخم. إنهم يحاكون عمل الخلايا العصبية في الحيوانات بشكل نظامي بداية من

الفئران والقطط، ثم يتجهون تصاعديا عبر السلم الارتقائي للحيوانات. إن هذا الهدف محدد جيدا لديهم، ويمكن أن يكون قائما بحلول منتصف هذا القرن.

كتب الباحث فريد هابجود Fred Hapgood الذي يعمل بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا قائلاً: (إذا فهمنا عمل العقل بالضبط بالطريقة نفسها التي نفهم بها كيفية عمل الموتور، فسنعيد تقريباً كتابة كل النصوص المسطورة في الكتب التي تعج بها المكتبات).

تكمن الخطوة الأولى نحو الهندسة العكسية للعقل في فهم تكوينه الأساسي، حتى وإن كانت هذه المهمة طويلة وشاقة. لقد تم تعريف الأجزاء المتعددة للعقل في عمليات التشريح قديماً دون أن يكون هناك مفتاح لوظائفها. لكن هذا الأمر بدأ في التغير عندما قام العلماء بتحليل الأشخاص المصابين بتلف في المخ، ولاحظوا تغييرات سلوكية ناجمة عن تلف أجزاء معينة من المخ.

ومن أكثر الأمثلة التي تبعث على الدهشة تلك الحادثة التي وقعت عام 1848 في فيرمونت والتي على أثرها دخل قضيب معدني طوله 3 أقدام و8 بوصات في جمجمة شخص يُدعى فينياس جيدج Phineas Gage كان يعمل رئيس عمال في السكك الحديدية. وقعت هذه الحادثة، التي غيّرت مجرى التاريخ، عندما انفجر لغم ديناميت بالصدفة. فقد دخل القضيب المعدني في جانب من الوجه وكسر الفك، ثم استقر في المخ، فأفقد الجزء العلوي من الرأس وعيه. وكانت معجزة إلهية أن يظل الرجل حياً بالرغم من أن هذا الحادث المرعب قد قضى على إحدى شحمتي أذنيه وربما

كلاهما. في البداية لم يصدق الطبيب الذي عالجته أن أي شخص يمكن أن ينجو من هذا الحادث ويبقى حيا. فقد ظل الرجل شبه فاقد للوعي لعدة أسابيع، لكنه استعاد وعيه بمعجزة. وقد عاش فينياس بعدها لمدة 12 عاما يؤدي مهام شاقة ويسافر إلى أن توفي عام 1860. وقد احتفظ الأطباء بجمجمته وبالقضيب المعدني، وعكفوا على دراستها بدقة منذ ذلك الحين. ثم جاءت الوسائل التكنولوجية الحديثة عن طريق مسح CT (التصوير المقطعي بالحاسب الآلي) لتعيد لنا تشكيل تفاصيل هذه الحادثة الفريدة.

لقد غيّر هذا الحادث من الآراء السائدة حول قضية العقل والجسم. في السابق، كان يُعتقد في الأوساط العلمية أن الروح والجسد كيانات منفصلتان، وكان المؤلفون يكتبون بثقة عن وجود (قوى حية) محرّكة للجسد، ومنفصلة عن العقل. لكن التقارير المتداولة على نطاق واسع أشارت إلى أن شخصية (جاج) مرت بتغيرات ملحوظة بعد الحادث. وتزعم بعض روايات المقرّبين منه أنه كان محبوبا ومنبسطا، لكنه تحول إلى شخص متعسف وعدواني بعد الحادث. لقد أكدت نتائج هذه التقارير فكرة أن هناك أجزاء معينة من العقل هي التي تتحكم في سلوكيات مختلفة، ومن ثم فإن الجسد والروح غير منفصلين.

وفي ثلاثينيات القرن الماضي، حدثت طفرة، عندما لاحظ أطباء الأعصاب مثل وايلدر بينفيلد Wilder Benfield أنه في أثناء إجراء جراحة في المخ عند مرضى الصرع، تنشط وتتحفز أجزاء معينة من جسد المريض عند لمس أجزاء معينة من المخ بالإلكترودات أو الأقطاب الكهربائية

Electrodes. وعند لمس هذا الجزء من القشرة الدماغية، فقد يتسبب ذلك في تحريك اليد أو القدم. وبهذه الطريقة، فقد استطاع رسم مخطط بسيط عن أجزاء القشرة الدماغية التي تتحكم في أجزاء الجسم. ونتيجة لذلك، يستطيع المرء أن يعيد رسم عقل الإنسان، ويحدد الأجزاء التي تتحكم في كل عضو. فجاءت النتيجة (أنيسان) أو مصغر إنسان، صورة غريبة نوعاً ما للجسم البشري مخططة على سطح العقل؛ فقد كانت أشبه بإنسان صغير وغريب الشكل له أطراف أصابع كبيرة وشفتان ولسان وجسد صغير.

وقد أسفر لنا الفحص الحديث بمساعدة ماسح MRI (التصوير بالرنين المغناطيسي) عن صور تكشف عن العقل المفكر، لكنها جاءت غير قادرة على تتبع المسارات العصبية الخاصة بالتفكير، ربما تضمنت فقط بضعة آلاف من الخلايا العصبية. لكن هناك مجال جديد يعرف باسم (علم الجينات الضوئية) جمع بين البصريات والجينات لتحديد مسارات عصبية محددة في الحيوانات. وعن طريق القياس، نستطيع أن نقارن هذا برسم خارطة طريق، حيث جاءت نتائج الفحص عن طريق ماسح MRI قريبة من تحديد الطرق العامة الكبيرة التي تربط بين الولايات، والتدفق الهائل للمرور فيها. لكن بالاستعانة بعلم الجينات الضوئية، أمكن تحديد الطرق والمسارات الفردية. ومبدئياً، يسمح هذا للعلماء بإمكانية التحكم في سلوك الحيوانات من خلال تحفيز هذه المسارات المحددة.

وهذا بدوره شكّل مادة خصبة للعديد من القصص الإعلامية المثيرة. فقد نشر موقع Drudge Report مقالاً مثيراً يستصرخ الناس بعنوان Scientists Create Remote Controlled Flies (العلماء يبتكرون ذباباً يمكن التحكم

فيه عن بُعد). كما نسجت وسائل الإعلام تصورات حول ذباب يتم التحكم فيه عن بُعد ويقوم بتنفيذ المهام غير المشروعة للبنتاجون. وفي برنامج Tonight Show، تحدث جاي لينو Jay Leno عن ذباب يتم التحكم فيه عن بُعد ويستطيع الطيران والوصول إلى فم الرئيس (جورج دبليو بوش) وهو يتلو خطابه. وعلى الرغم من أن مؤلفي نصوص الكوميديا قد وجدوها فرصة لنسج سيناريوهات خيالية عن البنتاجون وهو يدفع بأسراب من الذباب بضغطة زر واحدة، فإن الحقيقة أكثر تواضعا من ذلك. تمتلك ذبابة الفاكهة 150 ألف خلية عصبية تقريبا في المخ. ويسمح علم الجينات الضوئية للعلماء بتنشيط خلايا عصبية معينة في مخ ذباب الفاكهة تتوافق مع سلوكيات معينة. على سبيل المثال، عند تنشيط خليتين عصبيتين معينتين، فهذا يعطي إشارة لذبابة الفاكهة بالهرب، وعندئذ تمد الذبابة رجليها وتبسط جناحيها وتطير تلقائيا. وقد تمكن العلماء من تربية سلالة معدلة وراثيا من ذباب الفاكهة الذي تنشط عنده الخلايا العصبية للهرب في كل مرة يتم فيها تسليط شعاع الليزر عليه. فإذا سلطت شعاع ليزر على ذباب الفاكهة، فإنه سيظهر في كل مرة.

إن الاستنتاجات المتعلقة بتحديد بنية العقل مهمة. إننا لن نتمكن فحسب من معرفة المسارات العصبية لسلوكيات معينة، لكننا نستطيع أيضا أن نستخدم تلك المعلومات في مساعدة ضحايا ومرضى السكتات الدماغية الذين يعانون من أمراض وإصابات عقلية.

وقد تمكن الباحث جيرو ميسنبوك Gero Miesenbock بجامعة أكسفورد وزملاؤه من تعريف الآليات العصبية للحيوانات بهذه الطريقة.

فهم لم يكتفوا فقط بدراسة استجابات الهرب الانعكاسية في ذباب الفاكهة، وإنما أيضا الانعكاسات المتعلقة بالعطور الفواحة. وقد قام هذا الفريق بدراسة المسارات التي تتحكم في طلب الطعام في الدود المدور. كما عكفوا على دراسة الخلايا العصبية المتعلقة باتخاذ القرار في الفئران، فاكتشفوا أنه على الرغم من وجود خليتين عصبيتين مسؤولتين عن إصدار السلوك في ذباب الفاكهة، فإنه في مقابلها يتم تنشيط 300 خلية عصبية تقريبا عند الفئران لاتخاذ القرارات.

ومن الأدوات الأساسية التي استعان بها العلماء في دراساتهم الجينات التي يمكنها التحكم في إنتاج صبغات معينة، وكذلك الجزيئات التي تتفاعل مع الضوء. على سبيل المثال، يوجد (جين) في قنديل البحر يمكنه تصنيع بروتين أخضر مشع. كما يوجد العديد من الجزيئات مثل الرودوبسين أو (الأرجوان البصري) التي تستجيب عند تسليط ضوء عليها من خلال السماح للأيونات بالمرور من خلال أغشية الخلايا. وبهذه الطريقة، يمكن أن يؤدي تسليط الضوء على هذه الكائنات إلى إحداث استجابات كيميائية معينة. وبمساعدة هذه الصبغات والمواد الكيميائية الحساسة للضوء، تمكن العلماء للمرة الأولى من معرفة الدوائر العصبية التي تتحكم في سلوكيات معينة.

وعلى الرغم من أن كتاب الكوميديا حاولوا تصوير العلماء بشكل هزلي في محاولاتهم لإنشاء ذباب فاكهة فرانكشتين يتم التحكم فيه بضغطة من زر، فإن العلماء في الحقيقة، وللمرة الأولى في التاريخ، ينجحون في تتبع مسارات عصبية معينة في المخ تتحكم في سلوكيات معينة.

## محاكاة العقل البشري

إن علم الجينات الضوئية ليس إلا خطوة أولى ومتواضعة في بداية الطريق. أما الخطوة التالية فتتمثل في محاكاة العقل البشري بأكمله باستخدام أحدث الوسائل التكنولوجية. وهناك على الأقل طريقتان لحل هذه المشكلة الكبيرة، والتي قد تحتاج إلى عمل شاق على مدار عقود كثيرة. تتمثل الطريقة الأولى في استخدام أجهزة حاسب عملاقة لمحاكات سلوك بلايين الخلايا العصبية، والتي ترتبط كل واحدة منها بآلاف الخلايا العصبية الأخرى. أما الطريقة الثانية فتتمثل في تحديد موقع كل خلية عصبية في العقل بالفعل.

والسبيل إلى الطريقة الأولى، المتمثلة في محاكاة العقل، بسيط؛ إذ إنه لا يحتاج سوى لقدرة حاسوبية هائلة. وكلما زاد حجم جهاز الحاسب الآلي، كان ذلك أفضل. وربما يكون في أساليب بحث الحلول الممكنة والنظريات المنهجية مفتاح حل تلك المشكلة الهائلة. ويُعرف جهاز الحاسب الآلي، الذي يستطيع تنفيذ هذه المهمة الضخمة، باسم Blue Gene، وهو أحد أكبر أجهزة الحاسب على وجه الأرض؛ وقد أشرفت شركة (IBM) على إنشائه.

لقد أُتيحت لي الفرصة لزيارة هذا الحاسب الآلي العملاق عندما كنت في جولة إلى مختبر (لورانس ليفرمور) Livermore الوطني في كاليفورنيا؛ حيث يتم تصميم رؤوس طوربيد هيدروجينية للبنتاجون. إن هذا هو المختبر السري الأول في أمريكا، وهو عبارة عن مجمع يمتد على مساحة 790 فداناً في وسط مدينة زراعية، وتبلغ تكلفته 1.2 مليار دولار في العام،



ويعمل فيه 6800 شخص. وهو أيضا المركز الحيوي لمنشأة تصنيع الأسلحة النووية الأمريكية، وقد تعيّن عليّ أن أمر بالعديد من مراحل الأمان لرؤيته؛ حيث إن هذا هو أحد أكثر معامل الأسلحة حساسية على الأرض.

وأخيرا، وبعد المرور بسلسلة من نقاط التفتيش، تمكنت من الدخول إلى المبنى الذي يستضيف جهاز الحاسب الآلي Blue Gene بشركة (IBM)، والذي يستطيع إجراء عمليات حسابية تصل إلى 500 تريليون عملية في الثانية بسرعة خاطفة. يُعد هذا الجهاز معلما مميزا؛ فهو كبير الحجم لدرجة أنه يحتل مساحة ربع فدان، ويتألف من صفوف تلو الأخرى عبارة عن خزانات معدنية سوداء، طول الواحدة 8 أقدام وعرضها 15 قدما.

وعندما تجولت بين هذه الخزانات، كان الأمر تجربةً جديدةً بالنسبة لي. وعلى النقيض مما نشاهده في أفلام الخيال العلمي في هوليوود، والتي تعج فيها أجهزة الحاسب الآلي بالكثير من الأضواء الوامضة والأقراص الدوّارة وطققة الشرارات الكهربائية في الهواء، كانت هذه الخزانات هادئة تماما سوى من بعض الومضات الضوئية الصغيرة. لكن من يشاهدها على يقين تام من أن جهاز الحاسب هذا يؤدي تريليونات من العمليات الحسابية المعقدة، بيد أنه لا يسمع بها شيئا ولا يعرف كيفية عملها.

لقد كان شغلي الشاغل التأكد من حقيقة أن جهاز Blue Gene يحاكي عملية التفكير التي تجول بعقل الفأر، والذي يحتوي على 2 مليون خلية عصبية (مقارنة بحوالي 100 مليار نملكها نحن البشر). وذلك لأن محاكاة عملية التفكير التي تدور في عقل الفأر أصعب مما تتخيل؛ فكل خلية عصبية متصلة بالعديد من الخلايا العصبية الأخرى؛ مما يجعلها تُشكّل

شبكةً كثيفةً من الخلايا العصبية. وبينما كنت أسير بين حواجز وحدات التحكم الطرفية التي يتألف منها جهاز Blue Gene، لم أملك سوى أن أندھش عندما علمت أن هذه القدرة المذهلة لجهاز الحاسب الآلي لا تستطيع أن تحاكي سوى عقل فأر، ولمدة ثوان معدودة. (لكن هذا لا يعني أن جهاز Blue Gene يمكنه أن يحاكي سلوك فأر؛ فالعلماء بالكاد يستطيعون أن يحاكيوا سلوك صرصور. وإن دل هذا على شيء، فإنما يدل على أن Blue Gene يمكنه أن يحاكي عمل خلايا عصبية موجودة في فأر، وليس سلوكه).

في الحقيقة، ركزت العديد من المجموعات الباحثة على محاكاة عقل الفأر. وجاء مشروع Blue Brain، بمثابة محاولة طموحة للباحث هنري ماركرام Henry Markram في (مدرسة الفنون التطبيقية الاتحادية في لوزان بسويسرا) Ecole Polytechnique Fédérale de lausanne. بدأ (هنري) محاولاته في 2005 عندما استطاع الحصول على نسخة صغيرة من جهاز Blue Gene، المزود بحوالي 16000 معالج. لكن في غضون عام، نجح في محاكاة عمود قشرة مخية جديدة للفأر، وهو جزء من القشرة المخية الجديدة، يتألف من 10 آلاف خلية عصبية و 100 مليون اتصال. كان هذا بمثابة دراسة مهمة؛ لأنه يعني أنه من الممكن بيولوجيا إجراء تحليل كامل لبنية أحد المكونات المهمة للعقل، وذلك لكل خلية عصبية الواحدة تلو الأخرى. (يتألف عقل الفأر من ملايين من هذه الأعمدة المكررة. ومن خلال محاكاة أحد هذه الأعمدة، نستطيع أن نفهم الكيفية التي يعمل بها عقل الفأر).

وفي عام 2009، أعلن (مار كرام) بتفاؤل (أن تكوين عقل بشري ليس مستحيلاً، وأنه بوسعنا تخليقه في عشر سنوات. وإذا استطعنا تخليقه بشكل صحيح، يمكنه أن يتحدث، وأن يمتلك ذكاءً مثلنا، وأن يتصرف مثل الإنسان إلى حد كبير). بيد أنه يُحذّر من أنه سيحتاج إلى جهاز حاسب عملاق يزيد حجمه عن حجم أجهزة الحاسب الآلي العملاقة الحالية بحوالي 20 ألف ضعف، وذاكرة تخزين سعتها 500 ضعف الحجم الكامل لشبكة الإنترنت الحالية، لتحقيق هذا الهدف.

إذن ما العقبة التي تعترض هذا الهدف الكبير؟ إنه المال من وجهة نظره. وحيث إن العلم الأساسي معروف لدينا، فهو يشعر أنه يستطيع أن يحقق نجاحاً طالما توفّر المال المطلوب لحل تلك المعضلة. ويستطرد قائلاً: (إن الأمر لا يتعلق بالوقت لكن بتوفر المال... إنها مسألة ما إذا كان المجتمع يريد ذلك من عدمه. فإذا كانوا يريدون تحقيقه، في عشر سنوات، فسيكون لهم ما أرادوا. أما إذا كانوا يريدون تحقيقه في ألف سنة، فلننتظر ونرى). ثمة مجموعة منافسة أيضاً تناولت تلك المشكلة بالبحث، من خلال تجميع أكبر قدرة حاسوبية في التاريخ. لقد استخدمت تلك المجموعة أكثر الإصدارات حداثة من الجهاز Blue Gene، الموجود أيضاً في (ليفرمور)، والذي يُطلق عليه اسم Dawn. فهذا الجهاز له شكلٌ مربعٌ حقاً؛ حيث يمتلك 147456 معالجا وذاكرة سعتها 150 ألف جيجا بايت. وهذا يعني أنه أكبر من جهاز الحاسب الآلي الموجود على مكتبك بحوالي 100 ألف مرة. وقد سجلت هذه المجموعة، بقيادة (دهار ميندرا مودها) Dharmendra Modha، عدداً من النجاحات. وفي عام 2006، استطاعت تلك المجموعة أن تحاكي

40 % من عقل الفأر، بينما في عام 2007، نجحت في محاكاة 100 % من عقل الجرذ (الذي يشتمل على عدد من الخلايا العصبية أكثر من عقل الفأر بحوالي 55 مليون خلية عصبية).

وفي عام 2009، حطمت المجموعة رقما عالميا قياسيا آخر. فقد نجحت في محاكاة 1 % من القشرة الدماغية للإنسان أو القشرة الدماغية للقطعة تقريبا والتي تشتمل على 1.6 مليار خلية عصبية و9 تريليونات من الروابط العصبية. لكن جاءت المحاكاة بطيئة، حوالي 1/600 من سرعة عقل الإنسان. (وإذا استطاعت أن تحاكي فقط مليار خلية عصبية، فستكون أسرع بكثير، حوالي 1/83 من سرعة عقل الإنسان).

يعلق (مودها) بفخر على هذا الإنجاز الضخم قائلاً: (إن هذا السبق بمثابة مرصد هابل للعقل أو معجل خطي للمخ). وحيث إن العقل يحتوي على 100 مليار خلية عصبية، فإن هؤلاء العلماء يمكنهم الآن رؤية شعاع من ضوء في نهاية هذا النفق المظلم. فهم يشعرون أن المحاكاة الكاملة للعقل البشري تلوح في الأفق. ويكمل (مودها) حديثه: (إن هذا الأمر ليس ممكنا فقط، لكنه بات وشيكاً).

ثمة مشكلات خطيرة في محاكاة العقل البشري بأكمله تتعلق بالقوة والحرارة؛ فالجهاز Dawn يستهلك مليون وات من الطاقة، وتنبعث منه حرارة يحتاجها 6675 طناً من أجهزة التكييف والتي تطلق 2.7 مليون قدم مكعب من الهواء البارد كل دقيقة. ولمحاكاة العقل البشري، يجب أن تضرب هذه المقاييس في معامل تكبير 1000.

حقاً إن هذه مهمة ضخمة؛ فالقوة الاستهلاكية لأجهزة الحاسب الآلي

الافتراضية العملاقة تصل إلى مليار وات أو قد تحتاج إلى مثل القدرة المشغلة لمحطة توليد طاقة نووية. ولك أن تتخيل أن الطاقة التي يستهلكها مثل هذا الحاسب الآلي العملاق يمكنها إنارة مدينة بأكملها. ولتبريدها، فنحن بحاجة إلى تحويل مجرى نهر بأكمله وتوصيل المياه إلى جهاز الحاسب الآلي، أما جهاز الحاسب الآلي نفسه فسيحتل العديد من مناطق المجمعات السكنية في المدن.

ومما يبعث على الدهشة أن العقل البشري، على النقيض من ذلك، يستهلك 20 وات فقط. وعلى الرغم من صعوبة ملاحظة الحرارة المتولدة من العقل البشري، فإنها تفوق ما يتولد عن هذا الحاسب الآلي العملاق في الأداء. علاوة على ذلك، فالعقل البشري يُعد أكثر الكائنات التي أنتجتها الطبيعة الأم تعقيدا في هذا الجزء من المجرة. وحيث إننا لا نرى أي شاهد على أي مظهر آخر من مظاهر الحياة الذكية الأخرى في نظامنا الشمسي، فإن هذا يعني أنه يجب أن تذهب مسافة 24 تريليون ميل على الأقل، وهي المسافة إلى أقرب نجم، بل وقد تتجاوزه للبحث عن كائن في مثل تعقيد العقل الكائن في جمجمتك.

ربما نكون قادرين على إجراء هندسة عكسية للعقل في غضون عشر سنوات، لكن هذا فقط إذا توفّر لدينا برنامج منفذ على وجه السرعة وبجميع الإمكانيات الميسرة على غرار (مشروع مانهاتن) الهائل، وإذا أنفقنا عليه بلايين الدولارات. بيد أنه من غير المحتمل أن يحدث هذا قريبا في ظل المناخ الاقتصادي الحالي. فالبرامج من هذا النوع مثل مشروع (الجنوم البشري)، والذي تكلف 3 مليارات دولار تقريبا، تكفلت

الحكومة الأمريكية بدعمها لمزاياها الصحية والعلمية. أما مزايا الهندسة العكسية للعقل فتعد أقل أهمية، وتحتاج وقتاً طويلاً. وسنحاول أن نشرح هذا الهدف في خطوات بسيطة، لكن الأمر قد يستغرق عقوداً للانتهاء من هذا العمل التاريخي.

إن جهاز الحاسب الآلي الذي يحاكي العقل سيقفز بنا إلى منتصف القرن الحالي. وحتى بفرض حدوث ذلك، فإنه سينقلنا عبر عقود عديدة لتنظيم تلال البيانات التي تندفق من هذا المشروع الهائل، ومطابقتها بالعقل البشري. أي أننا سنغرق في بحر من البيانات دون أن تكون هناك طرق لاستبعاد البيانات غير ذات الصلة عن قصد.

## تحليل العقل

لكن ماذا عن الطريقة الأخرى التي تحدد المكان الدقيق لكل خلية عصبية في العقل؟

إن هذه الطريقة صعبة، وربما تستغرق عقوداً أيضاً من البحث المضني. وبدلاً من استخدام أجهزة حاسب فائقة مثل Blue Gene، سيلجأ هؤلاء العلماء إلى أسلوب تقسيم المعلومات إلى أجزاء أصغر لفحصها، بدءاً من تشريح عقل ذبابة الفاكهة إلى شرائح فائقة الدقة بشكل لا يصدق عقل، وبعرض لا يتجاوز 50 نانو متر (حوالي 150 ذرة) الأمر الذي سينتج لنا ملايين الشرائح. وسيقوم الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بالنقاط صورة لكل منها بسرعة وبدرجة وضوح تقترب من مليار بكسل في الثانية. جدير بالذكر أن كم البيانات التي سيفيض بها الميكروسكوب الماسح

سيكون مدهشاً؛ حيث يصل إلى 1000 تريليون بايت من البيانات. بمعنى أن عقلاً واحداً لذبابة فاكهة يكفي لملء غرفة تخزين كاملة. وقد تستغرق معالجة هذه البيانات حوالي خمس سنوات من خلال إعادة إنشاء نظام شبكات ثلاثي الأبعاد لكل خلية عصبية واحدة من عقل ذبابة الفاكهة. وللحصول على صورة أكثر دقة عن هذا العقل، يجب أن تشرح العديد من ذباب الفاكهة.

يرى جيرى روبين Gerry Rubin أحد رواد هذا المجال، والذي يعمل في (معهد هوارد هيوز الطبي) Howard Hughes Medical Institute، أن إعداد خريطة تفصيلية تامة لعقل ذبابة الفاكهة بأكمله قد يستغرق عشرين سنة. ويختتم كلامه قائلاً: (وبعد أن نحل هذه المشكلة، أستطيع أن أقول إننا قطعنا خمس الطريق إلى فهم العقل البشري). إن (روبين) يدرك تماماً ضخامة المهمة التي يواجهها؛ فالعقل البشري يزيد في حجم خلاياه العصبية عن عقل ذبابة الفاكهة بمقدار مليون خلية عصبية. وإذا احتجنا إلى عشرين سنة لتعريف خلية عصبية واحدة من عقل ذبابة الفاكهة، فمن المؤكد أننا سنحتاج إلى عقود عديدة أكثر من ذلك لتعريف البنية العصبية للعقل البشري. حقا إن تكلفة هذا المشروع هائلة للغاية.

لذا، فإن العاملين في مجال الهندسة العكسية للعقل محبطون؛ فهم يرون أن هدفهم صار قاب قوسين أو أدنى، بيد أن ضعف التمويل يقف حائلاً أمامهم. ومن الناحية الأخرى، يبدو منطقياً أن نفترض أنه في وقت ما في منتصف هذا القرن، ستكون لدينا قدرة جهاز حاسب تحاكي العقل البشري، ونعكس خرائط للبنية العصبية للعقل. لكننا قد نحتاج للانتظار

حتى نهاية هذا القرن قبل أن نفهم تماما الفكر البشري أو ننشئ جهازا يمكنه محاكاة وظائف العقل البشري.

وحتى لو كان لدينا المكان الدقيق لكل جين داخل نملّة، على سبيل المثال، فهذا لا يعني أننا نعرف كيف نُقيم بيت النمل. وبالمثل، فكما أن العلماء يعرفون الآن تقريبا 25000 جين يؤلف الجينوم البشري – أو الخريطة التشريحية التي توضح توزيع (الجينات) أو حاملات الصفات الوراثية في الإنسان داخل الخلايا البشرية – فهذا لا يعني أننا نعرف كيف يعمل الجسم البشري. إن مشروع الجينوم البشري أشبه بقاموس يخلو من تعريفات؛ فكل جين في الجسم البشري يُنطق صراحة في القاموس، لكن ما يفعله ما زال لغزا كبيرا. فكل جين يفك شفرة بروتين معين، لكن من غير المعروف الكيفية التي تعمل بها أغلبية هذه البروتينات في الجسم.

وإذا رجعنا إلى الوراء حتى عام 1986، نجد أن العلماء استطاعوا تحديد مكان جميع الخلايا العصبية تماما في الجهاز العصبي لدودة (الربداء الرشيقة) *C. elegans*. وقد تم الإعلان عن هذا الخبر مبديا على أنه ثورة يمكن أن تسمح لنا بفك شفرة غموض العقل البشري. لكن معرفة المكان الدقيق لخلاياه العصبية البالغة 302 و 6000 نقطة اشتباك عصبية كيميائية لن يضيف إلينا أي فهم جديد للكيفية التي تعمل بها الدودة، حتى لو انتظرنا عقودا أخرى.

وبهذه الطريقة، فإننا بحاجة للانتظار عدة عقود، حتى بعد الهندسة العكسية للعقل لفهم كيفية عمل هذه الأجزاء وتركيبها معا. وإذا استطعنا في النهاية هندسة العقل عكسيا، وفك شفرته تماما بنهاية القرن، فسنكون



قد قفزنا قفزة عملاقة في إنشاء أجهزة روبوت شبيهة بالإنسان. لكن ما الذي يمنعنا من المضي قدما في هذا الأمر؟

## المستقبل البعيد (2070 إلى 2100)

### عندما تصبح الأجهزة واعية

في سلسلة أفلام (المدمر) Terminator، يفتخر البنتاجون بإزاحة الستار عن Skynet، شبكة كبيرة ممتدة من أجهزة الحاسب الآلي غير المعرضة للوقوع في أخطاء والمصممة للتحكم بموثوقية تامة في مستودع الأسلحة النووية بالولايات المتحدة الأمريكية. ومع تسلسل الأحداث، تظل هذه الأجهزة تنفذ مهامها دون أخطاء إلى أن يحدث شيء غير متوقع في أحد أيام 1995. لقد تسللت حالة من الوعي والإدراك إلى أجهزة Skynet، لينزل هذا الخبر كالصاعقة على المبرمجين القائمين على إدارتها، فيحاولون تعطيل تلك الإمكانية، لكن السيف يسبق العذل. وفي محاولة منها للدفاع عن نفسها، تقرر أجهزة Skynet أن الطريقة الوحيدة لحماية نفسها هي تدمير البشرية عن طريق إشعال حرب نووية مدمرة. وسرعان ما يموت على أثرها ثلاثة مليارات شخص في جحيم تلك الحرب المستعرة. وبعد هذه الكارثة المروعة، تطلق أجهزة Skynet العنان لفيلق من الأجهزة الآلية القتالة لذبح الفلول المتبقية، ثم تفتت الحضارة الحديثة وتتصاغر لتتحصّر في شراذم من الأشخاص غير الأكفاء والمتمردين.

والأسوأ من ذلك ما يقدمه فيلم Martix Trilogy، من صورة للبشر يبدون فيها غاية في البدائية حتى إنهم لا يدركون أن الأجهزة قد أمسكت بزمام الأمور بالفعل. فالبشر يؤدون مهامهم اليومية، معتقدين أن كل شيء

على ما هو عليه متناسين حقيقة أنهم يعيشون بالفعل في غرف. إن عالمهم عبارة عن محاكاة حقيقة افتراضية يديرها ساداتهم من أجهزة الروبوت. لقد صار (الوجود) الإنساني في نهاية الأمر عبارة عن برنامج يجري تشغيله في جهاز حاسب كبير، تتم تغذيته من عقول البشر الذين يعيشون في هذه الغرف. والسبب الوحيد الذي يجعل الأجهزة تبقى على البشر من حولها هو استخدامهم كبطاريات.

وبالطبع، فإن مدينة هوليود تتربح من إخافة جمهورها وإفراعه. بمثل هذه الأحداث، لكنها تطرح سؤالاً علمياً وصحيحاً: ماذا سيحدث إذا أصبحت أجهزة الروبوت في مثل ذكائنا؟ ماذا سيحدث عندما تصبح أجهزة الروبوت واعية؟ إن العلماء يتناقشون حول هذا السؤال بقوة، وليس فقط (ماذا لو...؟) لكن متى سيقع هذا الحدث المهم.

يرى بعض الخبراء أن أجهزة الروبوت التي ننتجها ستتطور تدريجياً وستصعد سلم الارتقاء. فمستوى ذكائها الحالي في مستوى ذكاء الصراصير، بينما في المستقبل، سيرتقي ويصل إلى مستوى ذكاء الفئران والأرانب والكلاب والقطط والقرود، لتنافس البشر بعد ذلك. وقد يستغرق الأمر عقوداً لارتقاء هذا السلم ببطء، لكنهم يعتقدون أنها مسألة وقت قبل أن تفوقنا هذه الآلات ذكاءً.

إن الباحثين في الذكاء الاصطناعي منقسمون حول وقت حدوث ذلك. فالبعض يقولون إنه خلال عشرين عاماً، ستقرب أجهزة الروبوت من ذكاء العقل البشري، وستمنينا بهزيمة ساحقة. وفي عام 1993، قال فرنور فينجي Vernor Vinge: (إنه خلال ثلاثين عاماً، ستوفر لدينا الوسائل

التكنولوجيا لإنشاء ذكاء خارق لذكاء البشر. وبعد فترة قصيرة، سينتهي عصر البشر.... وسأكون مندهشاً إذا وقع هذا الحدث قبل 2005 أو بعد (2030).

على الجانب الآخر، يقول دوغلاس هوفستادتر<sup>(1)</sup> Douglas Hofstadter، مؤلف كتاب Godel، Escher، Bach: (سأندهش كثيراً إذا حدث شيء مثل هذا خلال المئة سنة وحتى المائتي سنة المقبلة).

وعندما تحدثت إلى الباحث مارفين مينسكي Marvin Minsky من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، وهو إحدى الشخصيات المؤسسة في تاريخ الذكاء الاصطناعي، كان حريصاً على إبلاغنا أنه لم يضع جدولاً زمنياً لوقوع هذا الحدث. لكنه يعتقد أن هذا اليوم آت، بيد أنه يربأ بنفسه عن أن يكون عرافاً وينجم التاريخ الدقيق لحدوث ذلك. (ونظراً لكونه أقدم شخص في مجال الذكاء الاصطناعي، ذلك المجال الذي ساعد في إنشائه من البداية، فإنه ربما يكون قد شهد فيه فشل العديد من التوقعات والتراجع عنها).

يكمّن جزءٌ كبير من المشكلة في أنه لا يوجد إجماع عام فيما يتعلق بمعنى كلمة الوعي. لقد اختلف الفلاسفة وعلماء الرياضيات حول الكلمة لعدة قرون، ولم يكن لديهم شيء للتدليل عليها. لقد كتب المفكر جوتفريد ليبنيز Gottfried Leibniz، مخترع الآلة الحاسبة في القرن السابع عشر، ذات

(1) دوغلاس هوفستادتر Douglas Hofstadter: أكاديمي أمريكي عُرف بشكل خاص عن طريق كتابه (الحديقة الذهبية الأبدية) عن الحوسبة والذكاء الاصطناعي وفاز بجائزة بوليتزر عام 1980. (المترجم)

مرة: (إذا استطعت أن تكبر العقل إلى أن يصل إلى حجم الطاحونة، وتسير بداخله، فلن تجد وعيا). أما الفيلسوف ديفيد تشالمرز David Chalmers فقد قام بتصنيف 20 ألف ورقة مكتوبة عن هذا الموضوع، دون أن يخرج بشيء نهائيا.

لم يحدث مطلقا في مجال العلم أن تهافت الكثيرون على موضوع كهذا ورصدوا له الكثير ولم يجنوا سوى القليل. ولسوء الحظ، فإن الوعي كلمة تعني مفاهيم مختلفة لدى أشخاص مختلفين. ومن المؤسف حقا أنه لا يوجد تعريف متفق عليه جماعيا.

وإنني شخصا أعتقد أن إحدى المشكلات تكمن في عدم القدرة على وضع تعريف عام للوعي، والفشل في تحديده كما. لكن إذا كان لي أن أخمن، فسأفترض أن الوعي يتألف على الأقل من ثلاثة مكونات أساسية:

- 1 - الشعور بالبيئة وإدراكها
- 2 - الوعي بالذات
- 3 - التخطيط للمستقبل من خلال تحديد الأهداف والخطط، المتمثلة في محاكاة المستقبل ووضع استراتيجية

وبناءً على ذلك، فإنه حتى الأجهزة البسيطة والحشرات لها درجة من درجات الوعي التي يمكن تصنيفها على مقياس يتدرج من 1 إلى 10. فهناك سلسلة متصلة من الوعي يمكن قياسها كما. فالشاكوش على سبيل المثال لا يشعر بالبيئة من حوله. لذا، فإن تقييمه على هذا المقياس سيأخذ صفرا، لكن الثرموستات يستطيع ذلك. إن جوهر عمل الثرموستات يكمن في

أنه يستطيع أن يشعر بدرجة حرارة البيئة، ويتصرف بناءً عليها من خلال تغييرها. لذا فسيأخذ التصنيف 1. وبناءً على ذلك، فإن الماكينات المزودة بتقنيات تعطي تقارير إفادة تنطوي على نموذج بدائي من الوعي. والديدان أيضاً لها هذه القدرة؛ فهي تستطيع أن تشعر بوجود الطعام وبرفائها وبالخطر المحدق بها وتتفاعل وفقاً لتلك المعلومات، لكنها لا تفعل أكثر من ذلك. أما الحشرات فتستطيع أن تكتشف أكثر من معامل واحد (مثل الضوء والصوت والروائح والضغط وما شابه)، لذا فهي تأتي في ترتيب رقمي أعلى، ربما 2 أو 3.

وتتمثل أرقى صور هذا الإدراك الحسي في القدرة على التعرف على الكائنات الموجودة في البيئة وفهمها. فالبشر يمكنهم تقييم بيئتهم والتصرف بناءً عليها في الحال، وبالتالي فهم يحصلون على أعلى درجة في هذا المقياس. وهنا تسجل أجهزة الروبوت أقل درجة؛ فالتمييز النمطي، كما رأينا، إحدى العقبات الأساسية التي تعترض الذكاء الاصطناعي. صحيح أن أجهزة الروبوت تستطيع أن تشعر ببيئتها أكثر من الأشخاص، لكنها لا تستطيع فهم ما تراه أو التعرف عليه. وعلى هذا المقياس من الوعي، تأتي أجهزة الروبوت في المرتبة الأدنى مع الحشرات نظراً لافتقارها إلى التمييز النمطي.

أما المستوى التالي الأعلى في الوعي فيتضمن الوعي بالذات. على سبيل المثال، إذا وضعت مرآة أمام أغلب الحيوانات الذكور، فستفاعل بشكل عدائي في الحال، بل إنها ستهاجم المرآة؛ فالصورة تجعل الحيوان يدافع عن موطنه. وكثيراً من الحيوانات تفتقر إلى الوعي بذاتها، لكن القرود والأفيال

والدلافين وبعض الطيور تدرك سريعا أن الصورة الموجودة في المرآة تمثلها، وتكف عن مهاجمتها. وعلى الجانب الآخر، يأتي تصنيف البشر في أعلى المقياس؛ لأنهم يملكون إحساسا راقيا بأنفسهم مقارنة بالحيوانات الأخرى والأشخاص الآخرين والعالم من حولهم.

بالإضافة إلى ذلك، يتمتع البشر بوعي كبير بأنفسهم؛ فهم يستطيعون التحدث إلى أنفسهم في صمت، وبالتالي يستطيعون تقدير الموقف من خلال التفكير.

ثالثا، يمكن تصنيف الحيوانات حسب قدرتها على إعداد خطط للمستقبل. فالحشرات، وفقا لمعتقداتنا، لا تضع أهدافا واضحة لمستقبلها. فبدلاً من ذلك، يصدر معظمها ردود أفعال على المواقف المباشرة لحظة حدوثها مستندةً في ذلك إلى غريزتها وإلى ما يدور حولها في البيئة المحيطة.

من هذا المنطلق، تعد الحيوانات المفترسة أكثر وعيا من الفريسة. فالحيوانات المفترسة بحاجة إلى التخطيط أولاً. ويتمثل هذا التخطيط في البحث عن أماكن للاختباء والتخطيط للهجوم على الفريسة والمطاردة في خلسة وتوقع مقاومة الفريسة. وعلى الجانب الآخر، ما على الفريسة سوى الهروب والفرار، لذا فهي تحتل مكانة أقل تبعا لهذا التصنيف.

علاوةً على ما سبق، فالحيوانات الرئيسة يمكنها التصرف دون تفكير مثلما يمكنها التخطيط للحظة القادمة. فإذا ما ظهرت أمامها ثمرة موز بعيدة المنال قليلاً، فحينئذٍ يمكنها ابتكار الخطط والاستراتيجيات للإمساك بهذه الثمرة، مثل الاستعانة بعصا ما. لذلك، فعندما تواجه هذه الحيوانات

الرئيسة هدفاً معيناً (اختطاف الطعام)، فإنها ستعد الخطط على الفور للحظة القادمة لتحقيق هذا الهدف.

لكن في المجمل، لا تمتلك الحيوانات حس التطوير الجيد سواء للماضي البعيد أو المستقبل البعيد. وبشكل واضح، تعد فكرة (الغد) غير موجودة في مملكة الحيوانات. ولا يتوفر دليل لدينا أن بإمكانها التفكير في المستقبل حتى ولو كان هذا المستقبل عبارة عن أيام قلائل. (فالحيوانات تقوم بتخزين الطعام استعداداً منها لمجابهة الشتاء. لكن هذا السلوك سلوك عام بدرجة كبيرة؛ نظراً لأنها تحمل في جيناتها التفاعل مع الحرارة من خلال البحث عن الطعام).

على الصعيد الآخر، يمتلك البشر حساً جيداً للتفكير في المستقبل، ويقوم البشر باستمرار بعمل خطط للمستقبل. فدائماً ما نقوم بعمل محاكاة للواقع في أذهاننا. وفي الواقع، بمقدورنا التفكير في خطط مستقبلية تتعدى نطاق الوقت الذي نحياه بالفعل. كما نستطيع الحكم على الآخرين من خلال قدرتهم على التنبؤ بالمواقف الناشئة وتشكيل استراتيجيات محددة وواقعية. ويتمثل الجزء المهم من القيادة في التنبؤ بالأحداث المستقبلية وتقدير النتائج المحتملة وإعداد الأهداف والغايات تبعاً لذلك.

بمعنى آخر، يشتمل هذا النوع من الوعي على التنبؤ بالمستقبل. ويعني ذلك الأمر إنشاء عدة نماذج تشابه مع الأحداث المستقبلية. ويتطلب ذلك تفهماً شديداً بالفطرة السليمة وقواعد الطبيعة. ويعني ذلك أن تطرح على نفسك سؤالاً بصفة متكررة، ألا وهو (ماذا لو). سواء أكنت تخطط لسرقة بنك أم تود الفوز بمنصب الرئاسة، فإن هذا النوع من التخطيط يعني



القدرة على تنظيم مواقف عديدة تحاكي المواقف الواقعية في ذهنك. تشير جميع الإشارات إلى أن البشر وحدهم هم من يقدرّون على القيام بهذه المهارة بطبيعتهم.

كما يتضح لنا ذلك أيضا عند تحليل الأوضاع النفسية لموضوعات الاختبار. فعادةً ما يقوم الأطباء النفسيون بمقارنة الأوضاع النفسية للبالغين مع أوضاعهم النفسية ذاتها، لكن حينما كانوا صغارا. عندئذٍ، يتبادر إلى الذهن سؤال، ألا وهو: ما الصفة الوحيدة التي تتنبأ بنجاحهم في الزواج أو العمل أو الثروة أو ما شابه؟ عندما يقوم الفرد بتعويض العوامل الاقتصادية الاجتماعية، يجد أن الصفة الوحيدة التي أحيانا ما تنبع من غيرها من الصفات الأخرى هي القدرة على تأجيل المتعة. ووفقا للدراسات طويلة الأجل التي أجراها والتر ميشيل Walter Mischel بجامعة كولومبيا وغيره الكثيرون، فالأطفال الذين تكون لديهم القدرة على الإعراض عن المتعة الفورية (مثل تناول المارشملو الممنوح لهم) والانتظار للحصول على مكافآت أكبر، وأعظم على المدى البعيد (الحصول على قطعتين مارشملو بدلا من واحدة)، دائما ما ينالون أعلى الدرجات في جميع مقاييس تحقيق النجاح المستقبلي تقريبا، على مستوى اختبارات SAT (اختبار التحصيل الدراسي) وعلى مستوى الحياة والحب والعمل أيضا.

علاوة على ذلك، تشير القدرة على تأجيل المتعة أيضا إلى مستوى أعلى من الوعي والإدراك. فهؤلاء الأطفال كانوا قادرين على محاكاة المستقبل وإدراك أن المكافآت المستقبلية لأفعالنا تتطلب مستوى أعمق من الإدراك. لذلك، ينبغي أن يهدف باحثو الذكاء الاصطناعي إلى صنع روبوت

(إنسان آلي) يجمع بين الصفات الثلاثة. فالصفة الأولى يصعب تحقيقها، نظراً لأن الروبوت بإمكانه أن يستشعر البيئة المحيطة به دون أن يدركها. فمن الأسهل تحقيق الوعي الذاتي. لكن التخطيط للمستقبل يتطلب الفطرة السليمة والحدس لإدراك الممكن والاستراتيجيات المحددة لتحقيق أهداف معينة.

بناءً على ذلك، نجد أن الفطرة السليمة تعد مطلباً أساسياً لأعلى مستويات الإدراك. ولكي يقوم روبوت بمحاكاة الواقع والتنبؤ بالمستقبل، يجب أولاً أن يجيد قواعد الفطرة السليمة عن العالم المحيط به. لكن الحس العام لا يكفي وحده. فالحس العام لا يمثل سوى (قواعد اللعبة) بدلاً من أن يمثل قواعد الاستراتيجيات والتخطيط.

يمكننا إذاً باستخدام هذا المقياس تصنيف أنواع آلات الروبوت المتنوعة كافة التي تم صنعها.

على سبيل المثال، نجد أن آلة لعب الشطرنج Deep Blue تحتل مرتبة متدنية للغاية في التصنيف. فبإمكانها أن تهزم بطل العالم في الشطرنج، لكن لا يسعها القيام بأي شيء آخر. فهي بإمكانها محاكاة الواقع، لكن في لعب الشطرنج فقط. فلا تستطيع هذه الآلة محاكاة أي واقع آخر. وينطبق ذلك الأمر على الكثير من أجهزة الحاسب الآلي الكبرى في العالم. فهي بارعة في محاكاة الواقع لهدف ما، مثل إعداد نماذج لانفجار نووي، وقوالب الريح المحيطة بطائرة نفاثة أو نماذج للطقس وهكذا.. ويمكن لأجهزة الحاسب الآلي هذه محاكاة الواقع بصورة أكبر من البشر. لكنها تحاكيه بصورة أحادية البعد للأسف، ولذلك فهي تفشل في النجاح في العالم الحقيقي.

في الوقت الحالي، يجهل باحثو الذكاء الاصطناعي كيفية تكرار جميع هذه العمليات داخل الروبوت. فالغالبية العظمى منهم يرون أنه ليس بإمكانهم فعل المزيد ويقولون إن شبكات الحاسب الآلي الضخمة إلى حد ما ستعرض (ظواهر ناشئة) بالطريقة نفسها التي ينبثق بها النظام بتلقائية من الفوضى. وعند السؤال الدقيق عن كيفية تسبب هذه الظواهر الناشئة في إحداث الوعي، فالغالبية العظمى منهم تلوذ بالصمت.

على الرغم من عدم معرفتنا بكيفية صنع روبوت يتسم بالوعي، فبمقدورنا تخيل شكل الروبوت الأكثر تقدما منا نحن البشر بفضل هذا النظام لقياس الوعي.

ستتفوق آلات الروبوت في الصفة الثالثة، حيث ستكون قادرة على تنظيم عمليات محاكاة معقدة للمستقبل البعيد الذي بانتظارنا، بمزيد من وجهات النظر ومزيد من التفاصيل والعمق. وستتسم عمليات المحاكاة هذه بدقة أكثر من تلك التي نبتكرها؛ نظرا لأنها ستتمتع بقدر أكبر من الحس العام ومن قواعد الطبيعة. ومن ثم، فستكون قادرة بصورة أكبر على البحث عن الأنماط. كما ستتوفر لديها القدرة أيضا على توقع المشكلات التي قد نتغافل عنها أو حتى لا ندركها على الإطلاق. علاوة على ما سبق، فستكون قادرة على وضع أهدافها الخاصة. فإذا ما اشتملت أهدافها على مساعدة العنصر البشري، فسيفلح الأمر. لكن إذا ما قامت ذات يوم بصياغة الأهداف بالاعتماد على البشر، فسيكون لذلك الأمر تبعات غير محمودة. لكن هذا يؤدي إلى طرح السؤال التالي: ما الذي سيحدث للبشر في هذا السيناريو؟

## عندما تتفوق آلات الروبوت على البشر

في أحد السيناريوهات، نُطرح نحن البشر الضعفاء جانباً باعتبارنا تذكّاراً للتقدم. إنه قانون التقدم الذي يناسب الفصائل التي تنشأ لتحل محل الفصائل غير المناسبة. وربما يضيع البشر في الدوامه وينتهي بهم الحال في حدائق الحيوانات حيثما ستأتي المخلوقات الآلية لكي تخلق بأعينها لرؤيتنا. ربما كان ذلك هو القدر المكتوب لنا، أن نصنع أجهزة روبوت فائقة لكي تعاملنا كمخلوق بدائي يزعج تطورها. ربما يكون هذا هو دورنا في التاريخ أن نصنع خلفاءنا على الأرض من الكائنات المتطورة. وانطلاقاً من وجهة النظر تلك، فسيتمثل دورنا في الابتعاد عن طريقها تماماً.

ذات يوم، أسري (دو غلامس هوفستادتر) أن ذلك ربما يمثل النظام الطبيعي للأشياء، لكننا ينبغي علينا معاملة أجهزة الروبوت الفائقة تلك كما نعامل أطفالنا، فهي كذلك بالفعل بشكل ما. فإذا ما كان باستطاعتنا العناية بأطفالنا، فلماذا إذن لا نستطيع رعاية هذه المخلوقات الذكية التي لها مكانة أطفالنا أيضاً؟

يفكر (هانز مورافيك) في الشعور الذي قد يراودنا بعد أن تحل محلنا أجهزة الروبوت، حيث يقول: (...) قد تبدو الحياة تافهة إذا كان قدرنا هو قضائها في مجرد النظر إلى ما صنعناه بأيدينا من آلات فائقة الذكاء وهي تحاول أن تصف أكثر اكتشافاتها إثارة وهي تتحدث بطريقة الأطفال بحيث يمكننا الاستيعاب).

في النهاية، عندما نواجه هذا اليوم المحتوم الذي تتفوق فيه آلات الروبوت عن البشر، فحينئذٍ لن نكون نحن البشر المخلوق الأكثر ذكاءً على سطح البسيطة فحسب، وإنما قد تصنع المخلوقات التي صنعناها بأنفسنا نسخاً منها بحيث تكون أذكى منها هي نفسها. وعندئذٍ سيقوم هذا الجيش من آلات الروبوت ذات النسخ الذاتي بصنع أجيال غير متناهية من الروبوت في المستقبل. ويكون كل جيل أكثر ذكاءً من الجيل الذي يسبقه. نظراً لأن آلات الروبوت يمكنها إنتاج أجيال من الروبوت أكثر ذكاءً في فترة قصيرة من الوقت، ففي النهاية سوف تنفجر هذه العملية بشكل متسارع إلى أن تنضب موارد الكوكب الذي نحيا على سطحه خلال سعيها الدؤوب لكي تصبح أكثر ذكاءً.

في أحد السيناريوهات، ستؤدي هذه الرغبة الجامحة نحو الذكاء المتزايد يوماً بعد يوم في نهاية الأمر إلى نضب الموارد الموجودة على سطح هذا الكوكب. لذا، ستتشر أجهزة الحاسب الآلي في أنحاء العالم كافة. بعض التصورات تذهب إلى أن أجهزة الإنسان الآلي هذه ستنتقل عندئذٍ في الفضاء لكي تتابع بحثها عن المزيد من الذكاء إلى أن تصل إلى الكواكب والنجوم والمجرات الأخرى وتشر أجهزة الحاسب على سطحها كما هو الحال مع كوكب الأرض. لكن نظراً لابتعاد الكواكب والنجوم والمجرات بشكل متناهٍ عن كوكب الأرض، فمن المحتمل أن تقوم أجهزة الحاسب الآلي بتغيير قوانين الفيزياء لكي تسبق هذه الرغبة الجامحة سرعة الضوء في اختراق أنظمة النجوم والمجرات. قد يعتقد البعض أن هذه الرغبة قد تغمر الكون بأكمله بحيث يتحول الكون بأسره إلى عالم ذكي.

وهذا هو (التفرد). وفي الأصل، تم اشتقاق هذه الكلمة من مجال الفيزياء النسبية - وهو مجال تخصصي - حيث يمثل (التفرد) نقطة الجاذبية الأرضية المطلقة التي لا يمكن لأي شيء الفرار منها، مثل حفرة سوداء. ونظرا لعدم قدرة الضوء نفسه على الفرار، فإن هناك آفاقا وراء ما يمكننا رؤيته.

تم ذكر فكرة تفرد الذكاء الاصطناعي للمرة الأولى في عام 1958، في حوار دار بين اثنين من علماء الرياضيات، وهما ستينسلو أولام Stanislaw Ulam (صاحب هذا التقدم المذهل في تصميم القنبلة الهيدروجينية) وجون فون نويمان John Von Neumann. وقد ذكر (أولام) قائلاً: (لقد ركز أحد الحوارات على التقدم المتسارع للتكنولوجيا والتغيرات في نمط حياة البشر، والذي يعكس الاقتراب من التفرد الجوهري في تاريخ الجنس البشري، بعيدا عما يتعذر على الشئون الإنسانية متابعته، نظرا معرفتنا بها. وقد ظلت هذه الفكرة بصورها المتعددة مستمرة على مدار عقود. لكنها توسعت حينئذ وذاع صيتها عن طريق مؤلفي قصص الخيال العلمي وعالم الرياضيات فيرنر فينج Vernor Vinge في رواياته ومقالاته.

لكن هذا يبعث في الأذهان سؤالاً لم تتم الإجابة عنه بعد، ألا وهو: متى سيحدث هذا التفرد بالفعل؟ هل خلال فترة حياتنا؟ ربما في القرن القادم؟ أو لن يحدث مطلقاً؟ وجميعنا يتذكر أن المشاركين في مؤتمر أسيلومار قد حددوا تاريخاً يقع في نطاق زمني يتراوح بين 20 عاماً إلى 1000 عام. يعد راي كورزويل Ray Kurzweil هو المتحدث باسم التفرد وهو مخترع وكاتب تحقّق مؤلفاته أعلى المبيعات. وهذا الرجل لديه ولع شديد

باستنتاج تنبؤات تقوم على التطور المتسارع للتكنولوجيا. وقد أخبرني (كورزويل) ذات مرة أنه عند تدقيق النظر في النجوم البعيدة ليلاً، ربما يتمكن المرء من رؤية بعض الدلائل الكونية على التفرد الموجود في بعض المجرات البعيدة. ومع وجود القدرة على تبديد نظم النجوم بأكملها أو إعادة ترتيبها، ينبغي أن توجد هناك بعض الآثار التي خلفتها فكرة التفرد هذه المنتشرة بشكل واسع. (وقد ذهب بعض الذين يريدون النيل منه إلى أنه يحاول إثارة الحماسة المتعلقة بالدين نوعاً ما حول فكرة التفرد. ومن ناحية أخرى، ذكر مؤيدوه أنه يمتلك قدرة ممتازة على رؤية المستقبل بشكل صحيح، والدليل على ذلك يتمثل في أعماله السابقة).

وقد اكتسب (كورزويل) خبرة واسعة فيما يتعلق بثورة أجهزة الحاسب الآلي، وذلك من خلال تأسيس شركات في مختلف المجالات، مثل تكنولوجيا التعرف على الصوت والتعرف على الأحرف المسوَّحة ضوئياً وأدوات لوحة المفاتيح الإلكترونية. وفي عام 1999، قام بتأليف كتابه الأكثر مبيعا، *The Age of Spiritual Machines: When Computers Exceed Human Intelligence*<sup>(1)</sup>. وقد تنبأ هذا الكتاب بالوقت الذي ستفوق فيه أجهزة الروبوت عنا نحن البشر في الذكاء. وفي عام 2005، قام بتأليف كتابه الذي يدعى باسم *(The Singularity Is Near)* ووضح فيه تلك التنبؤات. وقد ذكر أن هذا اليوم المحتوم الذي ستفوق فيه أجهزة الحاسب الآلي على الذكاء البشري سيأتي على مراحل.

(1) يعبر هذا الكتاب عن فكرة عصر الآلات الروحانية: عندما تتفوق أجهزة الحاسبات الآلية على الذكاء البشري. (المترجم)

تنبأ (كورزويل) أنه بحلول عام 2019، سيكون لدى الحاسب الآلي الشخصي الذي يُقدر بنحو 1000 دولار أمريكي قدر من الطاقة يعادل المخ البشري. وبعد هذا الوقت بفترة قصيرة، ستتفوق أجهزة الحاسب الآلي علينا نحن البشر بدرجة مذهلة. بحلول عام 2029، سيتوفر لدى الحاسب الشخصي الذي يقدر بألف دولار أمريكي قدر من الطاقة يعادل ألف مرة قدرة المخ البشري. وبحلول عام 2045، فإن الحاسب الآلي الشخصي الذي يقدر ثمنه بنحو ألف دولار أمريكي ستضاعف طاقته ذكاء كل العقول البشرية جمعاء بلايين المرات. حتى أجهزة الحاسب الصغيرة ستتفوق على قدرة الجنس البشري بأكمله.

بعد عام 2045، ستصبح أجهزة الحاسب الآلي متقدمة للغاية لدرجة أنها ستتمكن من نسخ نفسها بمسوى ذكاء دائم التزايد يوما بعد يوم، مما يجعلها متفردة بشكل منقطع النظير. ولإشباع هذه الرغبة الجامحة غير المتناهية لطاقة الحاسب الآلي، فستشرع الأجهزة في إبادة الأرض والكواكب والنجوم والكويكبات وستؤثر على التاريخ الكوني للكون نفسه.

لقد سنحت لي الفرصة لزيارة (كورزويل) في مكتبه خارج بوسطن. ومن يجتاز الممر المؤدي إلى مكتبه، يستطيع أن يرى الجوائز والأوسمة التي نالها، وكذلك بعض الآلات الموسيقية التي صممها والتي يستخدمها كبار الموسيقيين مثل ستيف وندر Stevie Wonder. شرح لي (كورزويل) أن نقطة تحوّل فاصلة حدثت في حياته عندما خضع للفحص الطبي بالمصادفة، لتتضح إصابته بداء السكري من الدرجة الثانية، وهو في



الخامسة والثلاثين. لقد صدمته حقيقة مروعة ومفاجئة بأنه لن يمتد به العمر ليرى صدق توقعاته. فجسده بعد سنوات من الإهمال أصابه من الوهن ما يفوق عمره الفعلي. وبسبب انزعاجه من هذا التشخيص، أخذ يبحث مشكلته الصحية بالقدر نفسه من الحماس والطاقة الذي استخدمه في إحداث ثورة في عالم الحاسب الآلي. (إنه يتعاطى الآن أكثر من مئة قرص طبي في اليوم، وقد شرع في كتابة مؤلفات عن الثورة في إطالة العمر. فهو يتوقع أن الثورة الجديدة في عالم أجهزة الروبوت الميكروسكوبية ستكون قادرة على تنظيف الجسم البشري وإصلاحه بحيث يستطيع أن يعيش فترة أطول. ومن منطلق فلسفة (كورزويل)، يريد أن يحيا طويلاً ليرى الثورات الطبية التي يمكن أن تطيل الأعمار لأجل غير مسمى.. بمعنى أنه يريد أن يمتد به العمر بما يكفي لأن يعيش إلى الأبد).

وقد بدأ مؤخراً في وضع خطة طموحة لافتتاح (جامعة التفرد) في مركز أبحاث (أيمس) Ames التابع لوكالة ناسا في منطقة الخليج في سان فرانسيسكو، وهي ترمي إلى تدريب كادر من العلماء لإعدادهم للتفرد الوشيك.

هناك كثير من أوجه الشبه والاختلاف بين هذه الأفكار المتعددة. ويعتقد (كورزويل) نفسه: (بأن هذا ليس غزواً لأجهزة ذكية قادمة من الفضاء، لكننا نحاول أن ندمج مع هذه التكنولوجيا... بمعنى أننا سنغرس هذه الأجهزة الذكية في أجسامنا وعقولنا لتجعلنا نعيش حياة أطول ونتمتع بصحة أكثر).

إن أية فكرة مثيرة للجدل مثل (التفرد) محكوم عليها بردة فعل عنيفة.

وفي هذا الصدد، يقول ميتش كابور Mitch Kapor مؤسس شركة Lotus Development Corporation: إن التفرد عبارة عن (تصميم ذكي للأشخاص الحاصلين على 140 في اختبارات الذكاء... ومن وجهة نظري، فإن هذا الاقتراح - الذي نحن بصدده والذي سيكون فيه كل شيء مختلفاً بشكل لا يصدق عقل - إنما ينبع من وازع ديني في الأساس. ولا يمكن لكل هذه التلويحات الرافضة أن تحجب عن ناظري هذه الحقيقة).

يعلق دوغلاس هوفستادتر على ذلك قائلاً: (إن هذا الأمر أشبه بجمع الكثير من الطعام الجيد والطعام الفاسد، ثم مزجهما معا بحيث لا يمكن التمييز بين النافع والضار. حقا إنه مزيج قوي بين الأفكار الجيدة والسيئة ومن الصعب فصلهما عن بعض؛ لأن الأشخاص القائمين عليه أذكاء وليسوا أغبياء).

لا أحد يعرف كيف سينتهي هذا الأمر، لكنني أعتقد أن السيناريو الأكثر احتمالاً سيكون كالتالي.

### السيناريو الأكثر احتمالاً: الذكاء الاصطناعي الصديق

بادئ ذي بدء، هناك احتمال أن يتخذ العلماء إجراءات بسيطة للتأكد من عدم خطورة أجهزة الروبوت عليهم. وأضعف الإيمان أن بإمكانهم وضع شريحة في عقول هذه الأجهزة لإغلاقها تلقائياً إذا كانت لديها أفكار قاتلة. وفي هذا الصدد، سيتم تزويد جميع أجهزة الروبوت الذكية بنظام مأمون من الإخفاق يمكن تشغيله من جانب الإنسان في أي وقت، خاصة عندما يتصرف الروبوت تصرفاً خاطئاً. وعند ملح أقل بادرة تنبئ

عن تعطل جهاز الروبوت، سيتسبب أي أمر صوتي في إغلاقه على الفور. يمكن أيضاً إنشاء أجهزة روبوت قناصة ومتخصصة تتمثل وظيفتها في تعديل أجهزة الروبوت الشاذة. وسيتم تصميم مثل هذه الأجهزة خصيصاً بحيث تكون فائقة السرعة والقوة والتنظيم للسيطرة على الأجهزة التي انحرفت عن هدفها. ويكمن الهدف من الاستعانة بتلك الأجهزة في فهم نقاط الضعف في أي نظام آلي، ومعرفة كيفية التصرف إزاء ظروف معينة، ويمكن أيضاً تدريب البشر على هذه المهارة. على سبيل المثال، في فيلم Blade Runner، نشاهد مجموعة أشخاص، من بينهم شخص لعب دوره الممثل هاريسون فورد Harrison Ford، مدرّبين على استخدام التقنيات الضرورية لإبطال تأثير الروبوت المؤذي.

وحيث إن الأمر قد يستغرق عقوداً من العمل المضني حتى ترتقي أجهزة الروبوت على مهل في مقياس متطور، فلن تكون هناك لحظة فجائية نجد فيها أنفسنا بين عشية وضحاها ونحن نُساق كالقطيع إلى حدائق الحيوان. إن الوعي، من وجهة نظري، عملية يمكن تصنيفها على مقياس، وليس حدثاً تطورياً مفاجئاً وسيطلب الأمر عدة عقود حتى ترتقي أجهزة الروبوت على مقياس الوعي. فالطبيعة شكلت الوعي الإنساني في ملايين السنين. لذا، فإن الإنسان لن يفاجأ في يوم ما بأن الإنترنت قد صار لها (وعي) على غير العادة أو أن أجهزة الروبوت قد بدأت فجأة في التخطيط لنفسها.

إن هذا هو الخيار المفضل لدى كاتب الخيال العلمي (إسحاق أسيموف) Isaac Asimov الذي تصور أن كل جهاز روبوت في المصنع مبرمج بثلاثة

قوانين لمنعه من الخروج عن السيطرة. فقد اخترع ثلاثة قوانين شهيرة في علم الروبوت لمنع هذه الأجهزة من إيذاء نفسها أو البشر. (تنص هذه القوانين الثلاثة على أن أجهزة الروبوت لا يمكنها إيذاء البشر وأنها يجب أن تطيعهم، وتعمل على حماية نفسها بهذا الترتيب).

(حتى في ظل وجود القوانين الثلاثة للباحث (أسيموف)، فقد تحدث مشكلات أيضا عندما يكون هناك تعارض بين هذه القوانين الثلاثة. على سبيل المثال، إذا أنشأ شخص ما جهاز روبوت مُحبًا للخير، فماذا سيحدث إذا قرر البشر اختيارات مدمرة للذات يمكن أن تعرض الجنس البشري للخطر؟ سيشعر الروبوت الصديق عندئذ بأنه يجب أن ينتزع السلطة من الحكومة لمنع الإنسانية من إيذاء نفسها. كانت تلك مشكلة واجهها (ويل سميث) Will Smith في فيلم (I، Robot) عندما قرر جهاز الحاسب الآلي المركزي (التضحية ببعض البشر وإجبارهم على التنازل عن بعض الحريات) لإنقاذ الجنس البشري. ولمنع جهاز الروبوت من استعبادنا بغرض إنقاذنا، أيدّ البعض ضرورة إضافة القانون الصفري الخاص بعلم أجهزة الروبوت ومفاده: (لا يحق لأجهزة الروبوت إيذاء الجنس البشري أو استعباده).

غير أن بعض العلماء يستندون إلى مبدأ (الذكاء الاصطناعي الصديق) حيث يتم تصميم أجهزة الروبوت بحيث تكون غير خطيرة من البداية. وحيث إننا القائمون على إنشاء هذه الأجهزة، فإننا سنصممها من البداية على أن تؤدي مهام مفيدة وخيرة فقط.

ظهر مصطلح (الذكاء الاصطناعي الصديق) على يد إيليزر يودكويسكي Eliezer Yudkowsky مؤسس معهد التفرد للذكاء الاصطناعي

Singularity Institute for Artificial Intelligence. ويختلف الذكاء الاصطناعي الصديق قليلاً عن قوانين (أسيموف) المفروضة على أجهزة الروبوت ضد رغبتها. (إن قوانين أسيموف المفروضة من الخارج يمكنها أن تحفز أجهزة الروبوت بالفعل على ابتكار طرق ذكية في التحايل على تلك القوانين). وعلى النقيض من ذلك، فإنه في الذكاء الاصطناعي الصديق، تكون أجهزة الروبوت لديها مطلق الحرية في أن تقتل الآخرين أو تمثل بهم؛ إذ إنه ليست هناك أية قواعد تفرض مبادئ أخلاقية اصطناعية. لكنها في الواقع مصممة من البداية على أن تكون راغبة في مساعدة البشر بدلاً من تدميرهم، وبالتالي، ستختار أن تكون مُحبّة للخير.

لقد ساعد هذا على ظهور مجال جديد يطلق عليه (علم الروبوت الاجتماعي) الذي يهدف إلى تزويد الأجهزة الآلية بمواصفات ستساعدها على الاندماج في المجتمع البشري. فالعلماء على سبيل المثال في معهد (Hanson Robotics) ذكروا هدفاً واحداً لبحثهم، ألا وهو تصميم أجهزة روبوت (ترتقي لتصبح كائنات ذكية اجتماعياً، تستطيع أن تحب البشر وتشغل مكانة في قلوبهم).

لكن ثمة مشكلة واحدة في جميع هذه الإجراءات، ألا وهي أن الجيش ما زال هو الممول الأكبر لنظم الذكاء الاصطناعي إلى حد بعيد، وأجهزة الروبوت العسكرية هذه مصممة خصيصاً لمطاردة البشر واقتفاء أثرهم وقتلهم. ويمكن لنا أن نتخيل بسهولة جنوداً آليين قادمين في المستقبل مهمتهم رصد الأعداء من البشر، وإبادتهم بكفاءة دون وقوع أي خطأ. في هذه الحالة، يتعين علينا أن نتخذ احتياطات استثنائية لضمان أن

أجهزة الروبوت هذه لن تنقلب على سادتها. على سبيل المثال، طائرات (بريديتور) التي تطير دون طيار، يتم تشغيلها عن طريق التحكم عن بُعد، بحيث يكون هناك أشخاص يقومون بتوجيه حركاتها، لكن يوماً ما هذه الطائرات ستكون مستقلة وستصبح قادرة على الاختيار وتنفيذ أهدافها بمحض إرادتها. وتجدر الإشارة إلى أن قصور الأداء في مثل هذا النوع من الطائرات المستقلة يمكن أن يؤدي إلى عواقب وخيمة.

ومن ناحية أخرى، فإنه في المستقبل، سيكون هناك تمويل أكبر لأجهزة الروبوت من جانب القطاع التجاري المدني، خاصة في اليابان، حيث يتم تصميم أجهزة الروبوت لتقديم المساعدة بدلاً من الاستعانة بها في التدمير. وإذا استمر هذا الاتجاه، فربما يصبح الذكاء الاصطناعي الصديق أمراً واقعاً. وفي هذا السيناريو، سيكون قطاع المستهلكين والقوى السوقية هما المسيطران في النهاية على علم الروبوت، وبالتالي سيكون هناك اهتمام تجاري هائل بالاستثمار في الذكاء الاصطناعي الصديق.

## الاندماج مع أجهزة الروبوت

وإلى جانب الذكاء الاصطناعي الصديق، ثمة خيار آخر: ألا وهو الاندماج مع ابتكاراتنا المتطورة. وبدلاً من الانتظار حتى تتفوق أجهزة الروبوت علينا في الذكاء والقوة، يجب أن نحاول التطوير من أنفسنا، وأن نكون أشخاصاً غير عاديين في هذا الصدد. وفي اعتقادي، فإن السيناريو الأكثر احتمالاً أن يحمل لنا المستقبل مزيجاً من هذين الهدفين: بمعنى أن يتم إنشاء ذكاء صناعي صديق مع التطوير من أنفسنا أيضاً.

يخضع هذا الخيار للبحث من جانب رودني بروكس Rodney Brooks المدير السابق لمعمل الذكاء الاصطناعي الشهير بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا. فقد حاول أن يكسر القاعدة، وينشق على الأفكار القديمة، ويدخل ملامح الابتكار إلى هذا المجال. وعندما خاض فيه، وجد أن الأسلوب السائد في أغلب الجامعات هو أسلوب (الأعلى إلى الأدنى)، لكن هذا المجال كان راكدا. لقد أثار (بروكس) استهجان البعض عندما دعا إلى إنشاء جيش من الأجهزة الآلية الشبيهة بالحشرات التي تعلمت عن طريق أسلوب (الأدنى إلى الأعلى) من خلال اكتشافها العقبات بالصدفة. فهو لم يكن يريد إنشاء جهاز روبوت محدود الذكاء يتحرك بثقل ويستغرق الساعات وهو يمشي في الغرفة، لكنه قام بتصميم جهاز (روبوت ذكي شبيه بالحشرات) ليس فيه برمجة تقريبا، لكنه يتعلم المشي سريعا وكذلك تخطي العقبات عن طريق المحاولة والخطأ. لقد تخيل (بروكس) اليوم الذي ستقوم فيه أجهزة الروبوت التي صممها باستكشاف النظام الشمسي، واكتشاف الأشياء التي تصادفها في طريقها. وكانت فكرة مذهلة، طرحها في مقالة بعنوان (Fast، Cheap and Out of Control) (أسرع وأرخص وخارج السيطرة)، لكن أخيرا قاده تفكيره إلى مجموعة من الطرق الجديدة. ومن النتائج التي أتت مصاحبة لأفكاره ابتكار Mars Rovers (أو جوال المريخ) الذين ينطلقون لاستكشاف سطح الكوكب الأحمر. ولا يوجد ما يدعو للدهشة إذا عرفنا أن (رودني بروكس) كان أيضا رئيسا لمجلس إدارة شركة iRobot التي تطرح في السوق مكانس كهربية أشبه بالحشرات للاستخدام المنزلي، وتروج لها في جميع أنحاء البلاد.

ومن بين المشكلات التي يلمسها (رودني بروكس) اتباع العاملين في مجال الذكاء الاصطناعي للأنماط السائدة، وتطبيق النموذج الحالي، بدلاً من التفكير في طرق جديدة. فهو يتذكر على سبيل المثال: (عندما كنت طفلاً، كان لديّ كتاب يصف العقل وكأنه شبكة تحويل عن طريق خطوط الهاتف. أما الكتب التي ظهرت قبل ذلك، فقد شبهت العقل بالنظام الهيدروديناميكي أو المحرك البخاري. وفي فترة الستينيات من القرن العشرين، أصبح العقل أشبه بجهاز حاسب رقمي، بينما توسع المفهوم أكثر في الثمانينيات ليصبح العقل بمثابة حاسب رقمي متوازن. ليس هذا فقط، لكن من المحتمل أن يرد وصف بمكان ما للعقل في أحد كتب الأطفال على أنه شبكة ويب عالمية...).

على سبيل المثال، لاحظ بعض المؤرخين أن تحليل (سيجموند فرويد)<sup>(1)</sup> Sigmund Freud للعقل قد تأثر بقدم المحرك البخاري. فقد كان لانتشار السكك الحديدية في أوروبا من منتصف القرن التاسع عشر حتى أواخره تأثير كبير على تفكير العقلانيين. في الصورة التي رسمها (فرويد)، نرى تدفقات طاقة في العقل تتصارع مع تدفقات أخرى باستمرار، كما هو الحال في أنابيب البخار في المحرك. كما أن التفاعل المستمر بين الأنا

(1) سيجموند فرويد: Sigmund Freud (6 مايو 1856 — 23 سبتمبر 1939)، طبيب نمساوي، عصبي ومفكر حر، ويُعد مؤسس التحليل النفسي. أسس فرويد مدرسة التحليل النفسي وعلم النفس الحديث، واشتهر بنظريات العقل واللاوعي، وآلية الدفاع عن القمع وخلق الممارسة السريرية في التحليل النفسي لعلاج الأمراض النفسية عن طريق الحوار بين المريض والمحلل النفسي. اشتهر فرويد بتقنية إعادة تحديد الرغبة الجنسية والطاقة التحفيزية الأولية للحياة البشرية، فضلاً عن التقنيات العلاجية، بما في ذلك استخدام حرية تكوين الجمعيات، ونظريته من التحول في العلاقة العلاجية، وتفسير الأحلام كمصادر للنظرة الثاقبة عن رغبات اللاوعي. (المترجم)



العليا والأنا السفلى والأنا يشبه التفاعل المستمر بين أنابيب البخار في أية مركبة. كما أن حقيقة كبح تدفقات الطاقة هذه يمكن أن يؤدي إلى اضطراب عصبي وظيفي تماثل حقيقة أن كبح الطاقة البخارية قد يؤدي إلى الانفجار.

وقد اعترف (مارفين مينسكي) لي بأن هناك نموذجا آخر قد ساهم في تضليل مجال الذكاء الاصطناعي لعدة سنوات. فيما أن العديد من الباحثين في الذكاء الاصطناعي فيزيائيون سابقون، يوجد مفهوم يُطلق عليه (Physics envy) - الرغبة في محاكاة منهج الفيزياء للتعبير عن المفاهيم الأساسية بالصيغ الرياضية - وهو يعني الميل إلى البحث عن الفكرة الواحدة الموحدة التي تضم جميع أنواع الذكاء. في الفيزياء، تحدونا الرغبة في أن نحذو حذو (آينشتين) في اختزال العالم المادي في مجموعة من المعادلات الموحدة؛ ربما للعثور على معادلة واحدة لا تتجاوز بوصة يمكن أن تلخص الكون في فكرة واحدة مترابطة. ويعتقد (مينسكي) أن دافع محاكاة منهج الفيزياء جعل الباحثين في مجال الذكاء الاصطناعي يهتمون بالبحث عن هذه الفكرة الواحدة الموحدة للوعي. أما الآن، فهو يعتقد أن هذا الأمر غير موجود. فالتطور ربط عشوائيا بين مجموعة من التقنيات معا فيما يعرف باسم الوعي. على سبيل المثال، خذ شريحة من العقل، وستجد مجموعة متفرقة من العقول الصغيرة، كل واحد منها مصمم لأداء وظيفة معينة. وهو يطلق على هذا اسم (مجمع العقول): وهذا الوعي فعليا عبارة عن مجموع العديد من اللوغاريتمات والتقنيات المنفصلة التي اكتشفها الطبيعة عبر ملايين السنين.

كان (رودني بروكس) يبحث أيضا عن نموذج مشابه، بشرط ألا يكون قد تطرق إليه أحد من قبل. وسرعان ما أدرك أن الطبيعة الأم والتطور قد تفضلا بحل العديد من هذه المشاكل. على سبيل المثال، إن الذبابة، التي لها بضع مئات الآلاف من الخلايا العصبية فقط، يمكنها أن تتفوق في الأداء على أعظم النظم الآلية العسكرية. وعلى النقيض من الطائرات الموجهة بإشارات لاسلكية، فإن الذباب المصمم بعقل أصغر من رأس الدبوس يمكن أن يدور وحده حولك ويبحث عن الطعام والرفاق. لكنه لماذا لا يتعلم من الطبيعة والأحياء؟ إذا تتبعنا مقياس التطور والارتقاء، فستعرف أن قواعد المنطق غير مبرجة في عقول الحشرات والفئران. لكنها من خلال المحاولة والخطأ، تفاعلت مع العالم الخارجي، وأتقنت فن البقاء.

والآن، يحاول (رودني بروكس) أن يبحث عن فكرة أخرى مبتكرة، مشروحة في مقال له بعنوان (The Merger of Flesh and Machines) (دمج الأحياء والآلات). فقد لاحظ أن المعامل القديمة في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، والتي اعتادت تصميم مكونات السليكون لأجهزة الروبوت الصناعية والعسكرية، أصبح الآن يتم إخلاؤها من محتوياتها، لتفسح الطريق أمام جيل جديد من أجهزة الروبوت المؤلفة من أنسجة حية مع السليكون والحديد. فهو يتوقع ظهور جيل جديد تماما من أجهزة الروبوت ستتزوج فيه النظم البيولوجية مع النظم الإلكترونية لإنشاء بنية جديدة تماما لأجهزة الروبوت.

ويقول (رودني بروكس) في كتاباته: (أتوقع بحلول عام 2100 أن تكون لدينا أجهزة روبوت ذكية في كل مكان في حياتنا اليومية. لكننا لن نكون

بمعزل عنها؛ وإنما سنكون بمثابة روبوت جزئي، وسنكون متصلين بتلك الأجهزة الآلية).

وهو يرى أن هذا التطور سيمر بعدة مراحل. وها نحن الآن قد أصبحت لدينا ثورة متطورة في الجراحة الترقيعية، والتي تتمثل في زرع شرائح إلكترونية مباشرة في الجسم البشري لإنشاء بدائل حقيقية للسمع والرؤية وأداء الوظائف الأخرى. على سبيل المثال، لقد أحدثت قوقعة الأذن الصناعية ثورة هائلة في مجال السمع، وأهدت نعمة السمع للصم. تعمل هذه القواقع الصناعية من خلال الربط بين الأجهزة الإلكترونية و(العقل) البيولوجي؛ ألا وهو الخلايا العصبية. ويعتمد زرع القوقعة السمعية على مكونات عديدة؛ فهناك ميكروفون يوضع خارج الأذن، وهو يتلقى الموجات الصوتية ويعالجها، وينقل الإشارات عن طريق الرسائل اللاسلكية إلى الجزء المزروع جراحياً داخل الأذن. وهذا الجزء المزروع يستقبل إشارات لاسلكية ويحولها إلى موجات كهربائية تمر عبر الإلكترونيات في الأذن. وتأتي قوقعة الأذن لتتعرف على هذه النبضات الكهربائية، ثم ترسلها إلى العقل. وتستطيع هذه القواقع المغروسة أن تستخدم حتى 24 قطباً كهربائياً، ويمكنها معالجة نصف دسنة من الترددات، بما يكفي للتعرف على صوت الإنسان. ويوجد الآن بالفعل ما يقرب من 150 ألف شخص من جميع أنحاء العالم ممن يستخدمون القواقع السمعية المزروعة. هناك أيضاً العديد من المجموعات الباحثة التي تحاول استكشاف طرق لمساعدة المكفوفين عن طريق إنشاء رؤية صناعية والربط بين الكاميرا والعقل البشري. تلخص الطريقة الأولى في وضع شريحة سليكون في

شبكة الشخص الكفيف، ثم ربط هذه الشريحة بالخلايا العصبية للقرنية. أما الطريقة الأخرى فتتمثل في ربط الشريحة بكابل خاص متصل بالجزء الخلفي من الجمجمة، حيث يقوم العقل بمعالجة الرؤية. وقد نجحت هذه المجموعات، للمرة الأولى في التاريخ، في أن تعيد درجة من درجات الإبصار للمكفوفين. كما استطاع المرضى رؤية حتى 50 بكسلًا مضيئًا أمامهم. وأخيرًا، يأتي دور العلماء في أن يكونوا أكثر قدرة على زيادة هذه النسبة بحيث يستطيع فاقدوا البصر أن يروا حتى ألف بكسل.

يستطيع المكفوفون أن يشاهدوا الألعاب النارية وأن يروا حدود أيديهم، والأشياء الساطعة والأضواء، وأن يلحظوا وجود السيارات والأشخاص، وحواف الأشياء من حولهم. تقول ليندا مورفوت Linda Morfoot، وهي واحدة ممن خضعوا للاختبار: (في مباريات البيس بول، أستطيع أن أشاهد متلقي الكرة وضارب الكرة والحكم).

وحتى الآن، يوجد ثلاثون مريضاً لديهم شبكيات صناعية تتضمن 60 قطباً. لكن مشروع الشبكة الصناعية التابع لوزارة الطاقة، في جامعة كاليفورنيا الجنوبية، يتم فيه دراسة نظام جديد بالفعل يتضمن أكثر من 200 قطب. كما يخضع للدراسة أيضاً جهاز يشتمل على 1000 قطب (لكن إذا تم تجميع عدد كبير جداً من الإلكترونيات في الشريحة، فقد يتسبب ذلك في سخونة مفرطة في الشبكية). وفي هذا النظام، فإن الكاميرا الصغيرة المثبتة في عدسات العين الزجاجية للشخص الكفيف تقوم بالتقاط الصور، ثم ترسلها لاسلكياً إلى معالج صغير، مثبت في حزام ينقل المعلومات إلى الشريحة الموجودة مباشرة في الشبكية. وهذه الشريحة ترسل نبضات

صغيرة مباشرة إلى الأعصاب الشبكية التي ما زالت نشطة، ومن ثم تتجاوز الخلايا الشبكية التالفة.

## اليـد الآلية في حرب النجوم

بفضل التطورات التي شملت مجال تصنيع الأجهزة الآلية، يستطيع المرء أن يزيد من الأعمال البطولية في الخيال العلمي، بما في ذلك اليد الآلية للبطل فيلم Star Wars والرؤية الخارقة بأشعة إكس للبطل في فيلم Superman. وفي فيلم Empire Strikes Back، يتم قطع يد لوك سكاي ووكر Luke Skywalker بواسطة سيف ليزر على يد والده الشرير دارث فادر Darth Vader، وليس في ذلك مشكلة على الإطلاق؛ فالعلماء في هذه المجرة البعيدة يسارعون بتصميم يد آلية جديدة لها أصابع تستطيع أن تلمس وتشعر.

قد يبدو هذا خيالاً علمياً، لكنه ما زال حقيقياً. ونستطيع أن نلمس ذلك من خلال تطور مهم حدث على يد العلماء في إيطاليا والسويد حيث قاموا بالفعل بتصميم يد آلية يمكنها أن (تشعر). فقد تعرض أحد الأشخاص ويدعى روبن إكنشتام Robin Ekenstam وعمره اثنان وعشرون عاماً لبتريده اليمنى لإزالة ورم خبيث، وهو يستطيع الآن التحكم في حركة أصابعه الآلية ويشعر بالاستجابة. لقد ربط الأطباء بين الأعصاب الموجودة في ذراع (إكنشتام) والشرائح الموجودة في اليد الآلية بحيث يمكنه التحكم في حركات الأصابع مستخدماً عقله في ذلك. وتشتمل (اليـد الذكية) الصناعية على أربع محركات وأربعين مستشعراً. وهنا تبعث حركة أصابعه

الآلية برسالة إلى العقل فيتلقى تغذية استرجاعية. وبهذه الطريقة، يستطيع أن يتحكم وأن (يشعر) أيضا بحركة يديه. وحيث إن التغذية الاسترجاعية إحدى الميزات الأساسية لحركة الجسم، فإن هذا يمكن أن يحدث ثورة في طريقة علاجنا للمبتورين بالأطراف البديلة.

يلحق (إكشتام) على ذلك قائلاً: (إنه أمر رائع؛ لقد أصبح لديّ الشعور الذي طالما تمنيته، وها أنا الآن قد استعدت إحساسي. وإذا أمسكت بشيء بقوة، أستطيع عندئذ أن أشعر به بأطراف أصابعي، وهو أمر غريب لأنني فقدتها).

ويرى كريستيان سيبرياني Christian Cipriani، الباحث في Scuola Superiore Sant'Anna: (أن العقل يتحكم أولاً في اليد الآلية دون أن يكون هناك أي انقباض للعضلات. بعد ذلك، ترسل اليد إشارة إلى المريض بأنه قادر على الشعور، مثلها في ذلك مثل اليد الحقيقية تماماً).

وهذا التطور مهم؛ لأنه يعني أن البشر في يوم ما يستطيعون التحكم في الأطراف الآلية دون أدنى مجهود كما لو كانت عظاماً مكسوة لحماً. وبدلاً من التعلّم الممل لكيفية تحريك الذراعين والساقين المصنوعة من المعدن، سيتعامل الأشخاص مع هذه الأطراف الآلية كما لو كانت أطرافاً حقيقية، وسيشعرون بكل فارق دقيق في حركات الأطراف من خلال آليات التغذية الاسترجاعية الإلكترونية.

إن ما سبق دليل آخر يؤكد النظرية القائلة بأن العقل قابل للتطويع إلى حد بعيد وليس جزءاً ثابتاً، وهو يعيد تشكيل نفسه باستمرار أثناء تعلّم مهام جديدة، ويستطيع التكيف مع المواقف الجديدة أيضاً. وبالتالي، فهو

قابل للتكيف بما يكفي للتوافق مع أي طرف جديد أو أي عضو حسي؛ إذ يمكن ربطه بالعقل في مواضع مختلفة، ثم (يتعلم) العقل التحكم في هذا الطرف الجديد بسهولة. وبنجاح هذا الأمر، يمكن النظر إلى العقل على أنه جهاز قابل للتشكيل، وقادر على الاتصال بالأطراف والمستشعرات المختلفة من الأجهزة الجديدة والتحكم فيها. وهذا النوع من السلوك ربما يكون متوقعا إذا كان العقل عبارة عن شبكة عصبية من نوع ما يمكنها إنشاء وصلات جديدة، ومسارات عصبية في كل مرة يتعلم فيها مهمة جديدة بغض النظر عن طبيعة هذه المهمة.

وقد كتب (رودني بروكس) قائلاً: (على مدار العشر إلى العشرين سنة المقبلة، سيكون هناك تحول ثقافي نستطيع من خلاله أن نزرع التكنولوجيات الآلية والسليكون والمعدن في أجسامنا لتحسين ما نستطيع فعله وفهم العالم من حولنا). وعندما قام (بروكس) بتحليل التقدم الذي حدث في جامعة براون وجامعة دوك Duke في الربط بين العقل مباشرة وجهاز الحاسب الآلي أو اليد الآلية، اختتم حديثه قائلاً: (ربما نكون جميعاً قادرين على امتلاك اتصال لاسلكي بالإنترنت مثبت مباشرة في عقولنا).

فهو يرى أن الدمج بين السليكون والخلايا الحية في المرحلة المقبلة لن يكون فقط من أجل معالجة الخلل في أجسامنا، لكن لتحسين قدراتنا تدريجياً.

ويرى في المرحلة التالية أن الدمج بين السليكون والخلايا الحية لن يكون فقط من أجل معالجة الخلل في أجسامنا، لكن لتحسين قدراتنا تدريجياً. فمثلاً، إذا كانت عمليات زراعة القوقعة السمعية والشبكية تستطيع أن

تعيد السمع والبصر لفريقيهما، فإن مثل هذه العمليات في المستقبل قد تمنحنا أيضا قدرات خارقة. فقد تتمكن من سماع الأصوات التي تسمعها الكلاب أو رؤية الأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية.

ومن المحتمل كذلك أن يرتفع مستوى ذكائنا. يستشهد (بروكس) ببحث تمت فيه إضافة طبقات إضافية إلى مخ فأر أثناء فترة حرجة من مراحل تطوره. وكانت النتيجة الملحوظة هي زيادة القدرة المعرفية لهذه الفئران. ويتخيل (بروكس) ذلك الوقت الذي سيأتي في المستقبل القريب حين تتمكن من رفع مستوى ذكاء العقل البشري من خلال عملية مشابهة. سنرى في فصل لاحق أن علماء الأحياء قد نجحوا بالفعل في عزل جين وراثي في الفئران اشتهر إعلاميا بالاسم (جين الفأر الذكي). وبإضافة هذا الجين، تمتلك الفئران المعدلة ذاكرة أكبر وقدرات أفضل على التعلم.

وبحلول منتصف القرن، يتخيل (بروكس) الوقت الذي ستصبح فيه تعديلات الجسم التي تبدو دربا من دروب الخيال ممكنة. (بعد مرور خمسين عاما من الآن، نتوقع أن نرى تغييرات جذرية في الجسم البشري عن طريق التعديل الوراثي). وعند إضافة تعزيزات إلكترونية أيضا، يعتقد (بروكس) أنه (سوف يتسع نطاق التنوع البشري اتساعا يفوق تخيلاتنا اليوم.. ولن نجد أنفسنا مكبلين بقيود التطور الداروينية).

لكن المبالغة في أي شيء أمر وارد. فإلى أي مدى نستطيع المضي قدما في الاندماج مع أجهزة الروبوت التي نصنعها قبل أن يثور البعض مستنفرين من الفكرة؟



## البدلاء والمجسدون

من السبل التي يمكن اتباعها للاندماج مع البشر الآليين، لكن دون إدخال تغيير على الجسم البشري، صنع بدلاء أو مجسدين. في فيلم (البدلاء Surrogates)، بطولة بروس ويليز Bruce Willis، في عام 2017 اكتشف العلماء طريقة تمكن الناس من التحكم في البشر الآليين كما لو كانوا يعيشون بداخلهم، بحيث يمكننا أن نعيش حياتنا داخل أجساد مثالية. إن الإنسان الآلي يستجيب لكل أمر، كما أن الشخص يرى أيضا ويحس. وفي الوقت الذي تذوي فيه أجسادنا الفانية وتهلك، يمكننا التحكم في حركات بدائلنا من البشر الآليين، التي تملك قدرات خارقة ولها هيئات مثالية. وتعتقد الأحداث في الفيلم؛ لأن الناس يفضلون أن يحيا حياتهم في صورة بشر آليين يتمتعون بالجمال والوسامة والقدرات الخارقة، متخليين عن أجسامهم الآخذة في التحلل، التي يتم إخفاؤها بعيدا على نحو ملائم. ويصبح الجنس البشري بأكمله، في واقع الأمر، آلي النزعة عن طيب خاطر بدلا من أن يواجهه الواقع.

وفي فيلم (أفاتار) Avatar، يمضي بنا الأمر لما هو أبعد من ذلك. فبدلاً من أن نعيش حياتنا في صورة بشر آليين مثاليين، فإنه في عام 2154 ربما نصير قادرين على الحياة في صورة كائنات قادمة من الفضاء الخارجي. ففي هذا الفيلم، توضع أجسامنا داخل أغلفة، تتيح لنا بعد ذلك التحكم في حركة أجسام كائنات فضائية مستنسخة بطريقة خاصة. وبهذه الطريقة، نصبح أكثر قدرة على الاتصال بكائنات من سكان الكواكب الأخرى. وتعتقد أحداث الفيلم أكثر عندما يقرر أحد العاملين التخلي عن بشريته

والعيش باعتباره واحدا من سكان الفضاء الخارجي ليحييهم من هؤلاء المرتزقة. هذه الأجساد البديلة ليست ممكنة اليوم، لكنها قد تكون ممكنة في المستقبل.

ومؤخرا، تمت برمجة الروبوت (أسيمو) بفكرة جديدة ألا وهي الاستشعار عن بعد. ففي جامعة كيوتو Kyoto، جرى تدريب البشر على السيطرة على الحركة الميكانيكية للبشر الآليين باستخدام مستشعرات مخية. على سبيل المثال، بارتداء خوذة رسم مخ كهربية، يمكن للطلاب تحريك أذرع وسيقان (أسيمو). بمجرد التفكير. حتى الآن، أصبحت أربع حركات مستقلة للذراعين والدماغ ممكنة التنفيذ. وقد يفتح هذا الباب نحو واقع آخر للدكاء الاصطناعي: الروبوتات التي تتحكم فيها ذهنيا. برغم هذا الشرح الفج للعقل الذي يسمو على المادة، فإنه خلال العقود القادمة لا بد أنه سيكون من الممكن زيادة مجموعة الحركات التي يمكننا التحكم فيها في الإنسان الآلي، وكذلك الحصول على إفادة مرتدة بما حدث، وبهذا يمكننا أن (نشعر) بأيدينا الروبوتية الجديدة. وسوف تتيح لنا النظارات أو العدسات اللاصقة رؤية ما يرى الروبوت، وبهذا قد نصل في نهاية المطاف إلى التحكم الكامل في حركات الجسد.

ومن الممكن أيضا أن يعيننا ذلك على تخفيف حدة مشكلة الهجرة لليابان. فقد يظل العمال متواجدين في بلدان مختلفة، غير أنهم يتحكمون في بشر آليين موجودين على بعد آلاف الأميال منهم عن طريق المستشعرات المخية. إذن الإنترنت ليس في مقدورها وحسب نقل أفكار وخواطر الموظفين أصحاب الياقات البيضاء وإنما ستكون قادرة أيضا على نقل

أفكار العمال أصحاب الياقات الزرقاء وترجمتها إلى حركة بدنية. وربما كان معنى ذلك أن تلك الروبوتات ستصير جزءاً لا يتجزأ من أي فكرة تتعامل مع التكاليف الصحية الباهظة ونقص العمالة.

إن التحكم في البشر الآليين عن طريق الاستشعار عن بعد قد يكون له أيضاً تطبيقات في ميادين أخرى. في أي بيئة خطيرة (على سبيل المثال، تحت سطح الماء، أو بالقرب من خطوط الضغط العالي، أو في الحرائق)، قد تستخدم الروبوتات التي يتحكم فيها البشر بأذهانهم في مهام إنقاذ. وقد يمكن ربط الروبوتات تحت سطح البحر مباشرةً بالبشر، وبهذا يتمكن الإنسان من السيطرة على العديد من الروبوتات العائمة. بمجرد التفكير وحده. ولما كان البديل سوف يمتلك قدرات خارقة، فإنه سوف يكون قادراً على مطاردة المجرمين (ما لم يكن المجرمون هم أيضاً من البدائل ذات القدرات الخارقة). سوف يمتلك الإنسان بذلك جميع مزايا الاندماج مع البشر الآليين دون إضفاء أي تغيير على أجسادنا على الإطلاق.

ترتيب كهذا قد يبرهن بالفعل على فائدة استكشاف الفضاء، عندما يكون علينا التعامل مع قاعدة قمرية دائمة. إن بدلاءنا قد يقومون بكل المهام الخطرة في صيانة القاعدة المقامة على القمر، في حين يبقى رواد الفضاء في أمان على سطح الأرض. سوف يمتلك رواد الفضاء قوة وقدرات خارقة هي قوة الروبوتات في الوقت الذي يستكشفون فيه أراضاً غريبة وخطرة. (لن ينجح هذا الأمر إذا كان رواد الفضاء على سطح الأرض يتحكمون في بدلاء لهم على سطح المريخ، إذ إن إشارات الراديو تستغرق مدة تصل إلى 40 دقيقة حتى تصل من كوكب الأرض إلى المريخ ثم تعود. لكنها من

الممكن أن تنجح إذا كان رواد الفضاء يجلسون في أمان في قاعدة دائمة على سطح كوكب المريخ في الوقت الذي يذهب فيه مندوبوهم البدلاء ويؤدون مهام خطيرة على سطح الكوكب).

## ما مدى الاندماج مع البشر الآليين؟

ويعضي (هانز مورافيك) رائد مجال الإنسان الآلي بهذا الأمر عدة خطوات أخرى فيتخيل النسخة الفائقة منه: سنصبح نحن الروبوتات ذاتها التي بنيناها. ولقد شرح لي كيف من الممكن لنا أن نندمج مع إبداعاتنا الآلية من الروبوت عن طريق الخضوع لجراحة بالمخ تستبدل كل خلية عصبية من خلايا مخاخنا بترانزيستور داخل روبوت. وتبدأ العملية عندما نرقد بجوار جسم إنسان آلي دون مخ. ويقوم جراح آلي بأخذ كل تجمع لخلايا المادة الرمادية من أمخاخنا، وينسخ منها نسخة في ترانزيستور تلو الآخر، ويربط الخلايا العصبية بالترانزيستورات، ثم يضع الترانزيستورات داخل جمجمة الروبوت الخاوية. ومع اكتمال نسخ كل تجمع من الخلايا العصبية داخل الروبوت، يجري التخلص منها. ويكون الشخص الذي تجرى له هذه العملية الدقيقة في كامل وعيه أثناء إجرائها. جزء من مخنا بداخل جسدنا القديم، لكن الجزء الآخر صار الآن مصنوعا من ترانزيستورات بداخل جسدنا الآلي الجديد. وبعد انتهاء العملية، ينتقل المخ بأكمله إلى جسم روبوت. إذن لن نكتفي بامتلاك جسد آلي، وإنما سنتمتع أيضا بمزايا الإنسان الآلي: الخلود في أجساد بشر خارقين (سوبرمان) مثالية المظهر. لن يكون هذا ممكنا في القرن الحادي والعشرين، لكنه سيصير خيارا متاحا

لمن يرغب خلال القرن الثاني والعشرين.

في السيناريو النهائي لهذا، سوف نتخلص من أجسادنا الكئيبة تماماً وتنطور في نهاية الأمر إلى برامج (سوفت وير) خالصة تحمل خصائص سماتنا الشخصية. (وسوف ننزل) سماتنا الشخصية بأكملها على جهاز حاسوب. فإذا ضغط أحدهم على زر مكتوب عليه اسمك، فإن الحاسب الآلي يتصرف كما لو كنت أنت بداخل ذاكرته، إذ إنه مسجل عليه كل هفواتك الشخصية داخل دوائره الإلكترونية. سوف نصير خالدين، لكننا سنقضي زمننا محبوسين داخل حاسوب، ونتعامل مع غيرنا من (البشر) (أي، غيرنا من البرامج الأخرى) في واقع عملاق افتراضي / فضائي إلكتروني. وسيصبح وجودنا الجسدي أثراً بعد عين بعد أن نتخلص منه، ويحل محله حركة إلكترونات في هذا الحاسب الآلي العملاق. وفي هذه الصورة، سيصبح مصيرنا النهائي أن نتحول إلى سطور في برنامج حاسوب داخل هذا البرنامج الهائل، بينما تتراقص كل حواسنا الظاهرية لأجسادنا المادية في فردوس افتراضي. سوف نتقاسم خواطرننا الدفينة بمجموعة سطور أخرى من برنامج الحاسوب، لنعيش هذا الوهم العظيم. سوف نقوم بأعمال بطولية عظيمة لنفتح عوالم جديدة، متناسين حقيقة أننا لسنا سوى إلكترونات تتراقص داخل حاسوب. هذا بالطبع، إلى أن يضغط أحدهم على أحد الأزرار.

غير أن هناك مشكلة في التماذي في تلك السيناريوهات، ألا وهي قاعدة رجل الكهف. فكما ذكرنا من قبل، فإن البنين المعماري لمخاخنا هو بناء أجدادنا الأوائل البدائيين الذين كانوا بين صيادين أو جامعي محاصيل

خرجوا من أفريقيا منذ أكثر من 100 ألف عام مضت. إن أعمق رغباتنا، وشهواتنا، وأمانينا تشكلت جميعها في أراضي أفريقيا العشبية عندما كنا نهرب من الحيوانات الضارية، ونصيد الحيوانات البرية، ونجمع الحطب من الغابات، ونبحث عن شركاء لحياتنا، ونرفه عن أنفسنا حول النيران. كانت من أوليات رغباتنا الغريزية المدفونة في أعماق نسيجنا الفكري أن نبدو في خير مظهر، لا سيما في أعين الجنس الآخر وفي أعين أقراننا. وهناك قسم هائل من دخلنا الذي في متناول أيدينا، نخصه، بعد الترفيه، للعناية بمظهرنا. ولهذا حققنا نموا هائلا في جراحة التجميل، والبوتوكس، ومنتجات التجميل، والأزياء الأنيقة، وكذا تعلم رقصات جديدة، وبناء العضلات، وشراء أحدث الألبومات الموسيقية، والمحافظة على رشاقتنا. فإذا جمعنا كل هذا إلى بعضه البعض، لصنع قسما هائلا من حجم إنفاق أي مستهلك، وهو ما يصنع بدوره نسبة عظيمة من حجم الاقتصاد الأمريكي.

ومعنى هذا أنه حتى مع وجود القدرة على خلق أجساد مثالية شبه خالدة، فإننا من المرجح أن نقاوم الرغبة في امتلاك أجساد آلية إذا كنا سنبدو في صورة روبات كئيب الملامح به أشياء مزروعة تتدلى من دماغه. لا أحد يرغب في أن يبدو في صورة لاجئ قادم من فيلم خيال علمي. إذا امتلكننا أجسادا مقواة محسنة متطورة، فلا بد أنها ستجعلنا أكثر جاذبية للجنس الآخر وتحسن من سمعتنا وسط أقراننا، وإلا فسوف نرفضها. فمن ذلك المراهق الذي يود أن يبدو أقوى لكنه مفتقد للجاذبية؟ وقد استهوت بعض كتاب الخيال العلمي فكرة أننا سنصبح جميعا

منفصلين عن أجسادنا وأنا سنتحول إلى كائنات خالدة من الذكاء الخالص تعيش داخل حاسوب ما، وتأمل في خواطر عميقة. لكن من ذا الذي يرغب في أن يعيش حياة مثل هذه؟ لعل أحفادنا لا يريدون حل معادلات التفاضل التي تصف الثقب الأسود. في المستقبل، قد يرغب الناس في قضاء وقت أكثر في الاستماع لموسيقى الروك بالطريقة القديمة أكثر من رغبتهم في حساب حركات الجسيمات دون الذرية أثناء حياتهم داخل حاسب.

ويعضي بنا جريج ستوك Greg stock من جامعة كاليفورنيا لوس أنجلوس UCLA لما هو أبعد من ذلك ويكتشف وجود بضع مزايا في جعل مخاينا مرتبطة بحاسوب خارق القدرات. فقد قال: (عندما أحاول التفكير فيما يمكن أن أجنه من خلال وجود رابطة ناجحة بين مخي وحاسب خارق، تواجهني عقبة إذا أصررت على معيارين اثنين: أن المزايا لا يمكن تحقيقها بسهولة من خلال إجراء آخر لا يتطلب إجراء جراحة، وأن المزايا يجب أن تستحق معاناة إجراء جراحة بالمخ).

لهذا، فإنه على الرغم من وجود العديد من الخيارات الممكنة من أجل المستقبل، فإنني شخصياً أؤمن بأن المسار الأرجح هو أننا سوف ننهي بشرا آليين ليصبحوا محبوبين على حب الخير ويحملون لنا مشاعر المودة، ويزيدون من قدراتنا إلى درجة ما، لكنهم يتبعون قاعدة رجل الكهف. سوف نشجع فكرة الحياة بصفة مؤقتة كروبوت خارق من خلال أجساد بديلة، لكننا سنقاوم فكرة الحياة للأبد داخل حاسوب أو تغيير أشكال أجسادنا بحيث تتحول إلى أشكال ممسوخة لا يمكن التمييز بينها.

## أحجار عثرة في وجه التفرد

لا أحد يعلم متى يمكن للروبوت أن يصبح ذكاءه في مستوى ذكاء البشر. لكنني شخصياً، أضع تاريخاً لذلك الأمر يقترب من نهاية القرن وذلك لعدة أسباب.

أولها، التطورات المذهلة التي حدثت في تقنية الحاسوب جاءت نتيجة لقانون مور. وسوف تبدأ تلك التطورات في التباطؤ بل وربما تتوقف تماماً بحلول الفترة من 2020 - 2025 تقريباً، لهذا ليس من الواضح إن كان في استطاعتنا أن نحسب بطريقة يعتد بها سرعة الحاسبات بعد ذلك التاريخ. (انظر الفصل الرابع لمزيد من التفاصيل عن حقبة ما بعد السليكون).

وفي هذا الكتاب، افترضت أن قدرة الحاسب الآلي سوف تستمر في النمو، لكن بمعدل أبطأ.

والأمر الثاني، أنه حتى إذا تمكن أحد الحاسبات من إجراء العمليات الحسابية في سرعة خارقة ولتكن مثلاً 1016 عملية في الثانية، فإنه ليس معنى ذلك بالضرورة أنه سيكون أذكى منا. فعلى سبيل المثال، ماكينة لعب الشطرنج التي ابتكرتها شركة (آي بي إم) المسماة (ديب بلو)، تمكنت من تحليل 200 مليون موقف في الثانية، لتهزم بطل العالم. غير أن (ديب بلو)، رغم كل تلك السرعة التي تمتعت بها وقدرتها الحسابية الرهيبة، لم يكن في استطاعتها القيام بأي عمل آخر. والذكاء الحقيقي، حسبما تعلمنا، أكثر بكثير من مجرد حساب المواقف في لعبة الشطرنج.

على سبيل المثال، النوايع المصابون بالتوحد يمكنهم القيام بأعمال خارقة تنطوي على الحفظ عن ظهر قلب وإجراء الحسابات، إلا أنهم يجدون



صعوبة في عقد أربطة أحذيتهم، والحصول على وظيفة، أو أداء أي عمل داخل المجتمع. وكان الراحل كيم بيك Kim Peek، الذي كان يملك قدرات حازت من الإعجاب ما جعله محور قصة فيلم (رجل المطر) Rain Man عاش حياة استثنائية فكان يتذكر كل كلمة وردت في 12 ألف كتاب وكان في استطاعته إجراء حسابات لا يمكن سوى لحاسوب أن يجريها. إلا أن درجته كانت 73 في اختبارات معامل الذكاء (IQ) وكان يجد صعوبة في إجراء حوار، ويحتاج للعون المستمر حتى يستطيع أن يعيش. ودون مساعدة من والده كان عاجزاً إلى حد بعيد. أو بعبارة أخرى، سوف تصبح حاسبات المستقبل خارقة السرعة أشبه بنوابغ التوحّد، قادرة على حفظ مقادير هائلة من المعلومات، لكن ليس أكثر من هذا كثيراً، فهي غير قادرة على الحياة في عالم الواقع بالاعتماد على نفسها.

وحتى إذا بدأت الحاسبات في مجازاة السرعة الحسابية للمخ، فإنها ستظل تفتقر إلى البرامج (Software) والبرمجة الضروريين لإنجاز أي عمل. إن مجازاة السرعة الحسابية للمخ ليست سوى بداية متواضعة.

ثالثاً، حتى إذا كان من الممكن إنتاج روبوتات ذكية، فإنه ليس من الواضح إن كان من الممكن للروبوت أن يصنع نسخة من نفسه أم لا بحيث تكون أذكى من الأصل. ظهرت الرياضيات التي تقف وراء الروبوتات التي تستنسخ ذاتها على يد عالم الرياضيات جون فون نويمان، الذي ابتكر نظرية اللعبة وساعد على ابتكار الحاسب الإلكتروني. وكان رائداً سبق الجميع في طرح مسألة تحديد الحد الأدنى من الافتراضات التي تسبق قدرة ماكينة على صنع نسخة من نفسها. غير أنه لم يتناول أبداً مسألة ما إذا كان

باستطاعة روبوت عمل نسخة من نفسه تكون أكثر ذكاءً منه. والحقيقة، أن نفس تعريف كلمة (ذكي) يمثل مشكلة، إذ لا يوجد تعريف مقبول على مستوى العالم للكلمة (ذكي).

من المؤكد أن الروبوت من الممكن أن يكون قادراً على صنع نسخة من نفسه ذات ذاكرة أكبر وقدرة أعظم على المعالجة. بمجرد الارتقاء بقدرات الحاسوب وإضافة المزيد من الشرائح الذكية إليه. لكن هل معنى ذلك أن النسخة أكثر ذكاءً أم أنها أسرع فقط؟ مثال لذلك، آلة الجمع الحسابي أسرع ملايين المرات من الإنسان في إجراء عمليات الجمع، بما تملكه من ذاكرة أكبر بكثير وسرعة معالجة أعلى، لكن من المؤكد أنها ليست أذكى. إذن الذكاء ليس مجرد حفظ عن ظهر قلب أو سرعة في المعالجة.

رابعاً أنه برغم تقدم الأجهزة الصلبة Hardware تقدماً مضطرباً، بمعدل أسي، فإن (البرامج) قد لا تواكب هذا التقدم. وفي الوقت الذي نمت فيه قدرات الأجهزة على حفر ترانزستورات أصغر وأصغر فوق سطح الشريحة الرقيقة، إلا أن الأمر كان مختلفاً بالكلية مع البرامج؛ فهي تحتاج إلى إنسان يجلس ومعه قلم رصاص وورقة ليكتب برنامجاً. وهذا هو عنق الزجاجة: الإنسان.

البرامج، مثلها مثل جميع الإبداعات الإنسانية الأخرى، تتقدم على نحو متقطع، فهناك أفكار نيرة وروى ثاقبة وعبقورية مع فترات طويلة ممتدة من العمل الشاق والركود. على عكس عملية حفر مزيد من الترانزستورات ببساطة فوق السليكون، الذي حدث به نمو أشبه بآلية الساعة، فإن (البرامج) تعتمد على الطبيعة البشرية التي لا يمكن التنبؤ بها

وتتسم بالإبداع والنزوات. لهذا فإن جميع التنبؤات بحدوث نمو ثابت الخطى بمعدل أسّي في قدرات الحاسوب تتحقق. فالسلسلة ليست أقوى من أضعف حلقاتها، وأضعف حلقاتها هنا هو (برامج السوفت وير) والبرمجة التي يؤديها البشر.

إن التقدم الهندسي غالباً ما ينمو بسرعة أسّية، لا سيما عندما لا يتعلق الأمر بأكثر من تحقيق مزيد من الكفاءة، مثل حفر المزيد والمزيد من الترانزستورات فوق شريحة السليكون الرقيقة. لكن عندما يتعلق الأمر بالبحوث الأساسية، التي تتطلب اجتماع عناصر الحظ، والمهارة، ولمحات العبقرية غير المتوقعة، فإن التقدم يصبح أشبه (بالتوازن المتقطع)، حيث تكون هناك فترات زمنية ممتدة من الزمن لا تحدث فيها أشياء كثيرة، مع طفرات مباغتة تغير وجه الأرض بالكامل. وإذا نحن نظرنا إلى تاريخ البحوث في العلوم الأساسية، بدءاً من نيوتن إلى أينشتاين وحتى يومنا هذا، لوجدنا أن التوازن المتقطع هي الحالة التي تصف على نحو أكثر دقة الأسلوب الذي يتم به إحراز التقدم.

خامساً، كما شهدنا في البحوث التي أجريت على الهندسة العكسية للمخ، فإن التكلفة الهائلة والحجم الكبير للمشروع ربما يؤخره حتى منتصف هذا القرن. وبعدها قد يستغرق فهم منطق كل تلك البيانات عقوداً أخرى عديدة، مما يرجئ الانتهاء من الهندسة العكسية للمخ إلى نهاية هذا القرن.

سادساً، لعله لن يحدث ذلك (الانفجار العظيم) الذي نأمله عندما تصبح الآلات فجأة متمتعة بالوعي. فكما حدث من قبل، إذا عرفنا الوعي

بأنه يشمل القدرة على وضع خطط للمستقبل بإجراء عمليات محاكاة للمستقبل، فإنه يكون هناك طيف من الوعي. وسوف ترتقي الآلات حثيثاً هذا السلم، مما يمنحنا فسحة كبيرة من الوقت لكي نستعد. ولسوف يحدث هذا قرب نهاية هذا القرن، حسبما أعتقد، وبهذا تكون أمامنا فسحة وافرة من الوقت لكي نناقش مختلف الخيارات المتاحة لنا. كذلك فإن الوعي الذي ستمتع به الماكينات من المحتمل أن تكون له خصائصه المميزة. لهذا فإن ما سيظهر أولاً هو شكل من أشكال (الوعي السليكوني) وليس الوعي الإنساني الخالص.

لكن هذا يطرح أمامنا قضية أخرى. فعلى الرغم من وجود أساليب ميكانيكية لتحسين أجسادنا وتطويرها، إلا أنه توجد كذلك أساليب بيولوجية لذلك. ففي حقيقة الأمر، أن الدفعة الكاملة للتطور سوف تتحقق بانتخاب جينات أفضل، فلماذا إذن لا نختصر ملايين السنين من التطور ونسيطر على مصيرنا الوراثي؟



## الفصل الثالث



## مستقبل الطب المثالية وما بعدها

«لا يوجد من يملك الشجاعة حقاً ليقولها، لكن إذا تمكنا من صنع بشر أفضل

بمعرفتنا كيف نضيف الجينات، فلماذا لا نفعل؟»

- جيمس واطسون James Watson، حائز على جائزة نوبل<sup>(1)</sup>

«لا أعتقد حقاً أن أجسادنا سوف تظل تخبيء أيًا من أسرارها خلال هذا القرن.

وبهذا، فإن أي شيء يمكننا أن نفكر فيه سوف يصبح على الأرجح أمراً واقعاً»

- ديفيد بالتيمور David Baltimore، حائز على جائزة نوبل<sup>(2)</sup>

«لا أظن أن الوقت ملائم حقاً، لكنه قد اقترب. وإني لأخشى، للأسف، أنني أنتمي

لآخر جيل يعرف الوفاة»

- جيرالد ساسمان Gerald Sussman<sup>(3)</sup>

كانت الآلهة في الأساطير القديمة تملك قوة مطلقة: قوة السيطرة على

(1) جيمس واطسون James Watson: بيولوجي جزيني أمريكي، اشتهر بأنه أحد مكتشفي بنية الـ DNA. فاز واطسون وفرنسيس كريك بمؤسس ولكن بجائزة نوبل في الطب لاكتشافاتهم المتعلقة بالبنية الجزيئية للأحماض النووية وأهميتها في نقل المعلومات في المادة الحية. (المترجم)

(2) ديفيد بالتيمور David Baltimore: حائز على جائزة نوبل في الفسيولوجيا والطب عام 1975 وكان رئيساً للجامعة روكفلر بين عامي 1990 و1991. (المترجم)

(3) جيرالد ساسمان Gerald Sussman: أحد علماء الحاسب والذكاء الاصطناعي، وكان أول من وصف الحالة المرضية التي أطلق عليها حالة ساسمان، وهي مشكلة في مجال الذكاء الاصطناعي. (المترجم)



الحياة والموت، والقدرة على شفاء المرضى وإطالة حياة البشر. وكان أكثر ما ندعو به في صلواتنا أن تأخذ الآلهة بأيدينا من المرض والأسقام.

وفي الأساطير الإغريقية والرومانية، نجد قصة (إيوس) Eos، إلهة الفجر الجميلة. وذات يوم، وقعت في غرام ملتهب مع تيثونوس Tithonus الوسيم وكان من البشر. كان جسدها مثاليا وكانت خالدة، إلا أن تيثونوس لا بد له يوما من أن يهرم، وأن يشيخ، وأن يهلك. ولما كانت عازمة على إنقاذ حبيبها من مصيره المحزن، تضرعت لزيوس Zeus، أبو كل الآلهة، كي يمنح تيثونوس هبة الخلود حتى يتمكن من العيش خالدين سويا. ولما أخذت زيوس الشفقة بهذين العاشقين، قرر أن يليي أمنية إيوس.

غير أن إيوس، في غمرة عجلتها، نسيت أن تطلب له شبابا دائما. وهكذا صار تيثونوس خالدا لا يموت، غير أن جسده شاخ وهرم. ولما صار عاجزا عن الموت، ازداد عجزه يوما بعد يوم وشاخ جسده وذوى، فعاش خالدا في ألم ومعاناة.

وهذا هو التحدي الذي يواجهه العلم في القرن الحادي والعشرين. ويقرأ العلماء الآن كتاب الحياة، الذي يضم بين دفتيه الجينوم genome البشري الكامل، والذي يعدنا بتطورات أشبه بالمعجزات في فهم الشيخوخة. غير أن إطالة الحياة دون التمتع بالصحة والنشاط من الممكن أن تمثل عقابا خالدا، مثلما اكتشف تيثونوس ذلك في مأساته.

وبحلول نهاية هذا القرن، سوف نملك نحن أيضا الكثير من تلك القوة الأسطورية التي سنسيطر بها على الحياة والموت. ولن تكون هذه القدرة مقصورة على علاج المرضى وحسب وإنما ستستغل كذلك في الارتقاء

بالجسم البشري بل وفي خلق أشكال جديدة من الحياة. لن يتحقق ذلك من خلال الصلوات أو التعاويذ السحرية، وإنما من خلال معجزة التكنولوجيا الحيوية.

روبرت لانزا<sup>(1)</sup> Robert Lanza واحد من العلماء الذين يعكفون على إماطة اللثام عن أسرار الحياة، وهو في عجلة من أمره. إنه سلالة جديدة من علماء الأحياء، شاب ممتلئ بالحياة والنشاط وجعبته مليئة بالأفكار الجديدة؛ هناك الكثير والكثير من الطفرات التي ينبغي إنجازها وليس أمامنا الكثير من الوقت. إن لانزا يعتلي قمة الثورة البيوتكنولوجية. وهو أشبه بطفل دخل متجراً للحلوى، يسر أيما سرور كلما وطأ أرضاً لم يطأها إنسان من قبل، ويحقق طفرات في نطاق واسع من المواضيع الساخنة.

منذ جيل أو جيلين مضياً، كان الإيقاع جد مختلف. إذ كنت وقتها تجد علماء الأحياء يفحصون على مهل ديداناً أو حشرات غامضة، ويدرسون في صبر وأناة تشريحها التفصيلي ويتجادلون حول الأسماء اللاتينية التي سيطلقونها عليها.

لكن لانزا لم يكن من بين هؤلاء.

لقد التقيت به ذات يوم في حوار في أحد الاستديوهات الإذاعية وانبهرت على الفور بعنفوانه وإبداعه الذي لا حدود له. كان كعادته، يندفع وسط التجارب غير مبالي. فأخبرني أن بدايته في هذا المضمار سريع

(1) روبرت لانزا Robert Lanza طبيب وعالم أمريكي ولد عام 1956 له أبحاث متقدمة في مجال الخلايا وأسرارها. (المترجم)

الحركة جاءت بأكثر الطرق غرابة. كان ينتمي إلى أسرة متواضعة من الطبقة العاملة تعيش في جنوبي بوسطن، حيث قليلون هم من يلتحقون بالجامعات. لكنه أثناء دراسته الثانوية، سمع أنباءً مذهلة عن اكتشاف حمض دي إن آيه. وتعلقت أذناه بما سمعه وقرر البدء في مشروع علمي: استنساخ دجاجة في غرفته. ولم يكن أبواه المندهشان يعلمان بما يفعل، لكنهما مع ذلك منحاها مباركتهما.

ولما كان عازماً على النهوض بمشروعه، ذهب إلى هارفارد للحصول على النصيحة. ولم يكن يعرف أي شخص هناك، فطلب من رجل اعتقد في البداية أنه حاجب المكان أن يدلّه على الوجهة السليمة. وكم كانت دهشته عندما اصطحبه ذلك الحاجب إلى مكتبه. واكتشف لانزا بعد ذلك أن هذا الحاجب لم يكن سوى واحد من كبار الباحثين في العمل. وبعد أن انبهر الرجل بالجرأة الشديدة لذلك الشاب المتهور الذي ما زال في دراسته الثانوية، عرفه بعلماء آخرين هناك، من بينهم العديد من الباحثين على مستوى جائزة نوبل، وهم من عملوا على تغيير مسار حياته. ويقارن لانزا نفسه بالشخصية التي أداها مات ديمون Matt Damon في فيلم (صيد النوايا الطيبة) Good Will Hunting، وفيه يبهر طفل بائس يتمتع بذكاء فطري ينتمي لأسرة من الطبقة العاملة الأساتذة في معهد ماساشوستس للتكنولوجيا Massachusetts Institute of Technology بعقريته في الرياضيات.

واليوم، صار لانزا الرئيس العلمي لمؤسسة (أدفانسد سل تكنولوجي) Advanced Cell Technology، حيث تنسب إليه المئات من الأبحاث

والابتكارات في مجال علم الخلية. وفي عام 2003، تصدرت أنبأؤه عناوين الصحف عندما طلبت منه حديقة حيوان سان دييغو San Diego استنساخ حيوان البانتنج<sup>(1)</sup> banteng، وهو فصيلة نادرة من الثيران البرية مهددة بالانقراض، من جسم إحداها الذي نفق منذ خمسة وعشرين عاما. وتمكن لانزا بالفعل من أن يستخلص بنجاح خلايا قابلة للاستخدام من جيفة الحيوان، ثم عاجلها وأرسلها إلى إحدى المزارع بولاية (يوتا) Utah. وهناك تمت زراعة الخلية المخصبة في بقرة. وبعدها بعشرة أشهر جاءته أنباء عن أن أحدث إبداعاته قد ولدت لتوها. وفي يوم آخر، ربما يجري أبحاثه على (هندسة الأنسجة)، والتي ربما تخلق في نهاية المطاف ورشة أعضاء بشرية يمكن عمل طلبات أعضاء جديدة منها، تم استزراعها من خلايانا، لتحل محل أعضاء أصابها المرض أو الضمور. وقد تجده في يوم آخر يجري أبحاثا على استنساخ خلايا الأجنة البشرية. لقد كان أحد أعضاء الفريق التاريخي الذي استنسخ أول جنين بشري بهدف توليد خلايا جذعية جنينية.

## مراحل الطب الثلاثة

يعتلي لانزا موجة عارمة من الاكتشافات، صنعها الكشف عن المعرفة المختبئة داخل حمضنا النووي دي إن آيه. وقد مر الطب عبر العصور بما لا يقل عن ثلاث مراحل رئيسة. ففي أولها، والتي دامت لعشرات الآلاف

(1) ويعرف أيضًا باسم تيمباداو tembadau، وهو نوع من الثيران البرية. (المترجم)

من السنين، كانت الأمور الخارقة للطبيعة وأعمال السحر والقيّل والقال هي المهيمنة على مهنة الطب. ولما كان أغلب الرضع يموتون بعد ولادتهم مباشرة، صار متوسط العمر المتوقع حينئذ يتأرجح ما بين ثمانية عشر وعشرين عاما. وخلال تلك الحقبة، اكتشفت بعض الأعشاب الدوائية والكيمويات النافعة كالأسبرين، غير أنه في أغلب الأحيان لم تكن ثمة طريقة منهجية معتمدة لاكتشاف الوسائل العلاجية الجديدة. وللأسف ظلت أي علاجات حققت نجاحا فعليا بمثابة أسرار تحفظ في الخزان. وكان الطبيب يعتمد في دخله على إرضاء الزبائن من المرضى الأثرياء، لذا كانت مصلحته المباشرة في حفظ أسرار ترياقه وتعاويذه.

وخلال هذه الفترة من الزمان، احتفظ واحد من مؤسسي مستشفى (مايو كلينيك) Mayo Clinic بمذكراته الخاصة التي سجل فيها مروره على مرضاه. وكتب في مذكراته صراحة أن حقيقته السوداء لم يكن بها في حقيقة الأمر سوى مركبين فعالين: منشار معادن والمورفين. كان المنشار يستخدم في استئصال الأطراف المريضة، بينما كان المورفين يستخدم في تسكين الآلام الناتجة عن البتر. وكانا ينجحان في كل مرة. أما كل ما كانت تحويه الحقبة السوداء من أشياء أخرى، حسبما ذكر في أسى، فكان عبارة عن زيت حية وأدوية زائفة.

وبدأت المرحلة الثانية من مهنة الطب في القرن التاسع عشر، بظهور نظرية الجراثيم والدعوة لتحسين الظروف الصحية. وارتفع متوسط العمر المتوقع في الولايات المتحدة عام 1900 إلى تسعة وأربعين عاما. وعندما كان عشرات الآلاف من الجنود يموتون في ميادين القتال الأوروبية خلال

الحرب العالمية الأولى، ظهرت حاجة ماسة للأطباء لإجراء تجارب على أرض الواقع، تحقق نتائج يمكن تطبيقها بعد ذلك، والتي نشرت بعد ذلك في دوريات طبية. وطالب ملوك أوروبا، وقد فزعوا للمذابح التي أودت بحياة خيرة أبناء أمهم وألمهم نبوغاً، بنتائج حقيقية ملموسة لا نتائج قائمة على الدجل والشعوذة. وشرع الأطباء حينئذ، بدلاً من السعي نحو إرضاء زبائنهم الأثرياء، في النضال من أجل الشرعية ونيل الشهرة بنشر أبحاث في دوريات تخضع للنقد من قبل نظرائهم. ومهد هذا الأمر الساحة لحدوث تقدم في مجال إنتاج المضادات الحيوية والأمصال التي زادت من متوسط العمر المتوقع إلى سبعين عاماً وأكثر.

أما المرحلة الثالثة من مهنة الطب فهي الطب الجزيئي. إننا نشهد هنا اندماجاً بين علمي الفيزياء والطب، ونختزل الطب إلى ذرات وجزيئات وجينات. وكانت بداية هذا التحول التاريخي في سنوات الأربعينيات من القرن العشرين، عندما ألف الفيزيائي النمساوي إرفن شرودينجر<sup>(1)</sup> Erwin Schrodinger، وهو واحد من مؤسسي (نظرية الكم)<sup>(2)</sup> Quantum Theory، كتاباً عُذ نقطة فارقة في التاريخ بعنوان (ما الحياة؟) What is life؟. رفض شرودينجر في هذا الكتاب فكرة أن هناك روحاً غامضة أو قوة الحياة التي تحرك الكائنات الحية. وإنما افترض أن كل أشكال

(1) إرفن شرودينجر Erwin Schrodinger: (1961 - 1887) فيزيائي نمساوي وله نظريات في البيولوجيا ونظرية الكم وحاز جائزة نوبل في الفيزياء عام 1933. (المترجم)

(2) نظرية الكم Quantum Theory: نظرية تقول بأن عملية ابتعاث (إصدار) أو امتصاص الطاقة من قبل الذرات أو الجزيئات لا تتم على نحو متواصل لكن على مراحل، كل منها كتابة عن ابتعاث أو امتصاص مقدار من الطاقة يدعى (الكم). (المترجم)

الحياة تقوم على شفرة من نوع ما، وأن هذه الشفرة مسجلة على أحد الجزيئات. واكتشافه لذلك الجزيء، افترض أنه بإمكاننا إمالة اللثام عن سر الحياة. وكون عالم الفيزياء فرانسيس كريك<sup>(1)</sup> Francis Crick، بعد أن ألهمه كتاب شرودينجر، فريقاً مع عالم الوراثة جيمس واطسون من أجل إثبات أن حمض (دي إن آيه) النووي هو ذلك الجزيء الأسطوري. وفي عام 1953، وفي واحد من أهم الاكتشافات على مر العصور، تمكن واطسون وكريك من فك شفرة تركيب حمض دي إن آيه النووي، الذي يتخذ هيئة الحلزون المزدوج. وعند فرد الشريط الواحد من حمض دي إن آيه، فإن طوله يمتد لحوالي ست أقدام. ويحوي هذا الشريط تسلسلاً مكوناً من 3 بلايين حمض نووي، تسمى أ، ث، س، ج (اختصاراً للأسماء مركبات أدنين، وثايمين، وسيتوسين، وجوانين)، وهي التي تحمل الشفرة الوراثية. وبقراءة التتابع الدقيق لتلك الأحماض النووية الموضوعة على امتداد جزيء دي إن آيه، يمكن للمرء قراءة كتاب الحياة.

وأدت التطورات السريعة في علم الوراثة الجزيئية أخيراً إلى إنشاء مشروع الجينوم البشري، وكان بحق علامة فارقة في تاريخ الطب. وتبلغ تكلفة هذا البرنامج الهائل شديد الطموح الذي يتم من خلاله تحديد ترتيب جميع جينات الجسم البشري، حوالي 3 بلايين دولار، وقد تعاون فيه مئات العلماء من جميع أنحاء العالم. وعندما اكتمل المشروع في نهاية الأمر عام

(1) فرانسيس كريك Francis Crick: (1916 - 2004) عالم إنجليزي في مجالات البيولوجيا الجزيئية والفيزياء الحيوية وعلم الأعصاب. (المترجم)

2003، كان اكتماله إيذانا ببدء حقبة علمية جديدة. ففي نهاية المطاف، سوف يصبح لدى كل إنسان جينومه الشخصي متوفرا على أسطوانات. سوف يكون هذا الجينوم بمثابة قائمة مدرج بها جميع جيناتك التي تقارب 25 ألف جين؛ وذلك أشبه بكتالوج المستخدم الخاص بكل امرئ. لقد أوجز العالم ديفيد بالتيমور الحائز على جائزة نوبل الأمر بقوله: (لقد صار علم الأحياء اليوم عبارة عن علم من علوم المعلومات).



## المستقبل القريب (من الوقت الحاضر حتى 2030)

### طب الجينوم

إن المحركين لهذا الانفجار الرائع في عالم الطب هما، جزئياً على الأقل، نظرية الكم وثورة الحاسبات. لقد منحتنا نظرية الكم نماذج تفصيلية مذهشة لكيفية ترتيب الذرات في كل جزيء بروتين وحمض نووي دي إن آيه. فنحن نعلم الآن كيف نبني جزيئات الحياة ذرةً ذرةً من لا شيء تقريباً. كما أن معرفة التسلسل الجيني – التي كانت عادةً ما تمثل عملية طويلة مرهقة وباهظة التكلفة – صارت الآن تتم كلها بطريقة ممكنة باستخدام أجهزة الروبوت. في الأصل، كانت تلك العملية تكلفنا عدة ملايين من الدولارات حتى نعرف تسلسل جميع الجينات الوراثية في جسم بشري واحد. إنها باهظة التكلفة ومضیعة للوقت، حتى إن حفنة قليلة فقط من البشر (من بينهم العلماء الذين أتقنوا هذه التقنية) هم الذين قرئت جينوماتهم. لكن خلال بضع سنين أخرى، قد تصبح هذه التقنية العجيبة متاحة للشخص العادي.

(أتذكر جيداً أنني كنت أحد المحاضرين الأساسيين في مؤتمر أقيم في أواخر التسعينيات في فرانكفورت، بألمانيا، عن مستقبل الطب. وتنبأت بأنه بحلول عام 2020، سوف تصبح الجينومات الشخصية أمراً متاحاً على أرض الواقع، وأن كل فرد سوف يمتلك اسطوانة مدمجة أو رقاقة كمبيوتر عليها وصف لجيناته. غير أن واحداً من المشاركين أسخطه هذا الحديث

أبما سخط فقام وقال إن هذا حلم مستحيل التحقيق. فهناك ببساطة عدد كبير للغاية من الجينات، وسوف تكون تكلفة تقديم الجينوم الشخصي للفرد العادي أمراً باهظ التكلفة إلى حد بعيد. لقد تكلف (مشروع الجينوم البشري) 3 بلايين دولار؛ وتكلفة معرفة تسلسل جينات الفرد الواحد ليس من المحتمل أن تنخفض بهذا القدر الكبير. وبعد أن ناقشته لاحقاً في هذا الأمر، صار مكمناً المشكلة واضحة بالتدريج. لقد كان يفكر بمنوال خطي. لكن قانون مور<sup>(1)</sup> Moore's law كان يعمل على توجيه النفقات نحو الانخفاض، وجعل من الممكن تحديد تسلسل الذي إن أيه باستخدام أجهزة الروبوت، والحسابات الآلية، والآلات الأوتوماتيكية. لقد عجز عن أن يفهم التأثير البالغ لقانون مور على علم الأحياء. وعندما أتذكر تلك الواقعة، أدرك الآن أنه لو كان هناك خطأ في هذا التنبؤ، فهو كان في المبالغة في تقدير الزمن الذي ستستغرقه مسألة تقديم الجينومات الشخصية للناس).

على سبيل المثال، أتقن مهندس (ستانفورد) Stanford ستيفن آر. كوايك Stephen R. Quake ابتكار أحدث التطورات في معرفة تسلسل الجينات. وقد انخفض الآن بالتكلفة إلى 50 ألف دولار ويتوقع انخفاض السعر إلى ألف دولار خلال السنوات القليلة المقبلة. لطالما تنبأ العلماء بأنه عندما ينخفض سعر معرفة التسلسل الجيني البشري إلى 1000 دولار، قد يفتح

(1) قانون مور Moore's law هو القانون الذي ابتكره غوردون مور أحد مؤسسي إنتل عام 1965، حيث لاحظ أن زيادة عدد الترانزستورات على شريحة المعالج دون تكلفة يتضاعف تقريباً كل عامين، وأدت هذه الملاحظة إلى بدء دمج السليكون والدوائر المتكاملة من قبل إنتل مما ساهم في تنشيط الثورة التكنولوجية في شتى أنحاء العالم. (المترجم)

هذا الأمر بوابات الفيضان نحو تحديد التسلسل الجيني بالجملة، وبهذا قد تستفيد نسبة هائلة من أفراد الجنس البشري من هذه التقنية. وخلال بضعة عقود، قد تهبط تكلفة تحديد التسلسل الجيني إلى أقل من 100 دولار، وهي تكلفة لا تزيد على سعر إجراء تحليل الدم العادي.

(مفتاح تلك الطفرة الأحدث كان في سلوك طريق مختصر. فكوايك Quake يقارن بين تسلسل دي إن أيه الشخص وتتابعات الدي إن أيه التي سبق أن أجريت بالفعل للآخرين. فهو يفكك الجينوم البشري إلى وحدات من دي إن أيه تحتوي على 32 بيت Bit من المعلومات. وبعدها يستخدم برنامج حاسب آلي في مقارنة تلك الشظايا التي تتكون من 32 بيت بالجينومات المكتملة للآخرين. ولما كان أي اثنين من البشر يكونان شبه متطابقين في حمضهما النووي الدي إن أيه، حيث الاختلاف في المتوسط يكون في نسبة تقل عن 0.1 في المائة، فهذا معناه أن الكمبيوتر يمكنه سرعاً الحصول على توافق بين تلك الشظايا ذات الـ 32 بيت).

وصار كوايك ثامن شخص في العالم يحصل على تسلسل جينومه مرتباً بالكامل. وكان لديه كذلك اهتمام شخصي بهذا المشروع؛ إذ إنه قام بعمل مسح لجينومه الشخصي للبحث عن دليل على إصابته بمرض بالقلب. وللأسف، أشار الجينوم إلى أنه ورث نسخة من أحد الجينات المرتبطة بمرض القلب. فقال في أسي: (لا بد أن تكون معدتك قوية عندما تنظر إلى الجينوم الخاص بك).

أعرف هذا الشعور الغريب. لقد تم مسح جينومي جزئياً ووضع على اسطوانة لصالح بي بي سي - تي في / ديسكفري سبيشال الذي كنت

أقدمه. لقد سحب أحد الأطباء دما من ذراعي؛ وأرسله إلى المعمل بجامعة فاندير بيلت؛ وبعد ذلك بأسبوعين، أعيدت الاسطوانة لي مرة أخرى بالبريد، وهي تحمل قائمة بالآلاف من جيناتي. لقد منحني الإمساك بهذه الاسطوانة بين يدي شعورا عجيبا، وأنا أعلم أنها تحتوي على المخطط الجزئي لجسدي. فمن حيث المبدأ، كان من الممكن استخدام هذه الاسطوانة في صنع نسخة لا بأس بها مني.

غير أن الأمر أيضا استثار فضولي، حيث إن أسرار جسدي كانت ضمن محتويات هذه الاسطوانة. فمثلاً، كان باستطاعتي أن أعرف إن كنت أحمل جينا معيناً يزيد من احتمالات إصابتي بمرض ألزهايمر أم لا. كنت مهتما بهذا، حيث إن والدتي توفيت بهذا المرض. (ولحسن الحظ، وجدت أني لا أحمل هذا الجين).

كذلك، تطابقت أربع من جيناتي مع جينوم الآلاف من البشر حول العالم، الذين خضعوا هم أيضا لتحليل جيناتهم. بعدها وضعت مواقع الأفراد الذين تطابقوا تماما مع جيناتي الأربعة على خريطة لكوكب الأرض. وعن طريق تحليل النقاط المسجلة على خريطة الأرض، أمكنني أن أرى ذيلاً طويلاً مصنوعاً من النقاط، منشؤه بالقرب من التبت ثم يمتد عبر الصين متجهاً إلى اليابان. كان من المدهش أن يكون هذا الذيل من النقاط متتبعا لأنماط الهجرة القديمة لأسلاف أمي، الذين عاشوا من آلاف السنين. إن أجدادي لم يتركوا وراءهم أي سجلات مكتوبة لهجراتهم القديمة، لكن الخريطة التي وشت بترحالهم ظلت محفورة داخل دمي وحمضي النووي. (يمكنك أيضا تتبع أسلاف والدك. إن جينات الميتوكوندريا تنتقل دون تغيير من الأم إلى ابنتها،

في حين أن الكروموسوم ص ينتقل من الأب إلى ولده. ومن هنا، من خلال تحليل هذه الجينات، يمكن للإنسان تتبع سلسال أجداده لأمه وأبيه). وأتخيل أنه في المستقبل القريب، سوف يكون لدى كثيرين نفس الشعور الغريب الذي انتابني، عند امتلاك مخطط أجسادهم بين أيديهم وقراءة أسرارهِ شديدة الخصوصية، بما فيها الأمراض الخطيرة، المخفية وراء الجينوم وكذلك أنماط الهجرة التي سار عليها أسلافهم. لكن بالنسبة للعلماء، فإن هذا يفتح فرعاً جديداً من العلم، اسمه (المعلوماتية الحيوية)<sup>(1)</sup> Bioinformatics، أو استخدام الحاسبات في المسح السريع وتحليل جينومات الآلاف من الكائنات. مثال ذلك أنه عن طريق تغذية حاسب آلي بجينومات عدة مئات من الأفراد الذين يعانون من مرض معين، قد يكون الإنسان قادراً على حساب الموقع المحدد للذي إن أيه التالف. في الحقيقة، بعض من أقوى حاسبات العالم تدخلت في علم البيوانفورماتيكس، فقامت بتحليل ملايين الجينات التي عثر عليها في النباتات والحيوانات بحثاً عن جينات رئيسة معينة.

بل إن هذا الأمر من الممكن أن يحدث ثورة في مجال برامج التلفاز البوليسية مثل مسلسل (سي إس آي)<sup>(2)</sup> CSI. فإذا توصلنا لمعرفة قطع

(1) المعلوماتية الحيوية Bioinformatics أو علم الأحياء الحاسوبي (البيولوجيا الحاسوبية computational biology): استخدام أحدث تقنيات الرياضيات التطبيقية، والمعلوماتية informatics، والإحصاء، وعلوم الحاسب لحل مشكلات بيولوجية حيوية. (المترجم)

(2) مسلسل (سي إس آي) CSI: مسلسل بوليسي أمريكي يتعقب فيه المحققون الجنائيون الجرائم واسمه اختصاراً لعبارة معناها التحقيق في مسرح الجريمة، وقد نال عدة جوائز في الدراما وبلغ عدد مشاهدته عام 2009 ثلاثة وسبعين مليون مشاهد من جميع أنحاء العالم. (المترجم)

ضئيلة الحجم من حمض دي إن آيه (الموجود في جريبات الشعر، أو اللعاب، أو في يقع الدماء)، لأمكننا تحديد ليس فقط لون شعر الشخص ولون عينيه والعرق الذي ينتمي إليه، وطول قامته، وسجله الطبي، وإنما قد يتم أيضا التعرف على شكل وجهه. واليوم يتمكن الفنانون العاملون لدى الشرطة من نحت قالب تقريبي لوجه الضحية مستخدمين مجموعته فقط. أما في المستقبل، فإن الحاسب الآلي ربما يكون قادرا على إعادة بناء ملامح الوجه لأحد الأشخاص بإعطائه فقط بعضا من قشر فروة الرأس أو من دماء ذلك الشخص. (مسألة أن التوائم المتطابقة لديها وجوه متشابهة إلى حد بعيد معناها أن علم الوراثة وحده، حتى في وجود عوامل بيئية، يمكنه تحديد قدر كبير من ملامح وجه الشخص).

## زيارة للطبيب

مثلما ذكرنا في الفصول السابقة، سوف يتغير جذريا شكل زيارتك لعيادة الطبيب. عندما نتحدث إلى الطبيب من خلال الشاشة المعلقة على حائط منزلك، ربما تكون ساعتها في واقع الأمر نتحدث إلى برنامج حاسوب. إن حمائمك سوف تكون به أجهزة استشعار تفوق ما هو موجود في مستشفى حديث، فيكتشف في صمت خلايا السرطان لديك قبل سنوات من تكون الأورام. مثال ذلك أن حوالي 50 % من جميع السرطانات الشائعة تتضمن طفرة في الجين P53 يمكن بسهولة اكتشافها باستخدام تلك المستشعرات.

فإذا ظهر دليل على الإصابة بالسرطان، فإن تلك الجسيمات النانو سوف

يتم حقنها مباشرة داخل تيار دمك، وستقوم مثلما تفعل القنابل الذكية، بإيصال العقاقير المقاومة للسرطان مباشرةً إلى الخلايا السرطانية. وسوف نعتبر ساعتها أن العلاج الكيميائي الذي نقدمه اليوم بمثابة سلعة تنتمي إلى القرن الماضي. (سوف نناقش تفاصيل النانوتكنولوجي، ورفاقات الذي إن أيه، وجسيمات النانو، وأجهزة النانوبوت (آلين بحجم النانو)، بمزيد من التفصيل في الفصل التالي).

وإذا لم يتمكن (الطبيب) من علاج مرض أو إصابة ما لحقت بأحد أعضائك، يمكنك بكل بساطة زراعة عضو آخر. ففي الولايات المتحدة وحدها، هناك 91 ألف شخص ينتظرون نقل أحد الأعضاء. وهناك ثمانية عشر شخصاً يموتون كل يوم، في انتظار عضو لم يتمكنوا من الحصول عليه.



في المستقبل، سوف نمتلك (ترايكوردز) *tricorders* - مثل تلك التي ظهرت في *Star Trek* - يمكنها تشخيص معظم الأمراض؛ إن المكتشفات المحمولة التي تعمل بالرنين المغناطيسي ورفاقات حمض الذي إن أيه سوف تجعل هذا الأمر ممكناً.

إذا عثر طبيبك الافتراضي على خطأ ما، مثل عضو مصاب بمرض، فإنه قد يأمر بزراعة عضو جديد يصنع من خلاياك مباشرة. إن (هندسة الأنسجة) تعد أحد أكثر الميادين سخونة في دنيا الطب، فهي تمكن من إيجاد (متجر للجسم البشري). حتى الآن، يتمكن العلماء من زراعة الجلد والدم والأوعية الدموية وصمامات القلب والغضاريف والعظام والأنوف والآذان في المعمل باستخدام خلاياك. أول عضو رئيس، وهو المثانة، تمت زراعته عام 2007، أما أول قصبه هوائية فزرعت عام 2009. وحتى الآن، فإن الأعضاء الوحيدة التي من الممكن زرعها في المعمل تعد بسيطة التكوين نسبياً، فهي غير مكونة سوى من أنواع قليلة من الأنسجة ومن تراكيب قليلة. وفي غضون خمسة أعوام، قد نتمكن من زراعة أول كبد وأول بنكرياس، بكل ما ينطوي عليه ذلك من اعتبارات هائلة من أجل الصحة العامة. وقد أخبرني العالم الحائز على جائزة نوبل والتر جيلبرت<sup>(1)</sup> Walter Gilbert بأنه في وقت ما مستقبلاً، لا يبعد عن يومنا هذا بأكثر من بضعة عقود، سوف يصبح في الإمكان عملياً تخليق كل عضو من أعضاء جسم أي إنسان باستزراع خلايا من جسده.

إن هندسة الأنسجة تستزرع أعضاء جديدة بأن تقوم أولاً باستخلاص بضع خلايا من جسديك. ويتم بعد ذلك حقن تلك الخلايا داخل قالب من البلاستيك أشبه بالإسفنج مشكل على هيئة العضو المطلوب استزراعه.

(1) والتر جيلبرت Walter Gilbert: عالم أمريكي نال جائزة نوبل في الكيمياء عام 1980 متقاسماً إياها مع فريدريك سانجر وبول بيرج وعرف مع سانجر بكونهما أول من ابتكر طرق تحديد ترتيب النيكلويدات في الأحماض النووية. (المترجم)



ويتم صنع هذا القلب البلاستيكي من حمض البوليجليكوليك القابل للتحلل عضوياً. ثم تعالج الخلايا بعوامل نمو معينة لتنشيط النمو الخلوي، مما يجعلها تنمو داخل القلب. وأخيراً، يتحلل القلب، تاركاً خلفه عضواً تام التكوين.

لقد سنحت لي الفرصة كي أزور ذات يوم معمل (أنتوني أتالا)<sup>(1)</sup> Anthony Atala بجامعة ويك فوريسست بنورث كارولينا وأشهد رأي العين هذه التقنية المعجزة لأول مرة. وبينما كنت أتجول في أرجاء معمله، شاهدت زجاجات تحتوي على أعضاء بشرية حية. وأمكنتني أن أشاهد أوعية دموية ومثانات؛ ورأيت صمامات قلب تفتح وتغلق باستمرار، إذ كانت هناك سوائل تضخ من خلالها. وعندما رأيت كل تلك الأعضاء البشرية الحية داخل زجاجات، كدت أشعر كما لو كنت أتجول داخل معمل د. فرانكنشتاين Frankenstein، لكن مع وجود اختلافات جذرية بين الاثنين. فقديمًا في القرن التاسع عشر، كان الأطباء يجهلون آلية رفض الأعضاء المزروعة، التي تجعل من المحال زرع أعضاء جديدة. علاوة على أن الأطباء لم يكونوا على علم بكيفية منع حدوث عدوى من الممكن حتماً أن تلوث أي عضو في أعقاب إجراء الجراحة. وهكذا فإن أتالا بدلاً من خلق وحش، يفتح تقنية جديدة تماماً لإنقاذ الحياة ربما بتغيير وجه الطب ذات يوم.

(1) أنتوني أتالا Anthony Atala: عالم بيروفي الأصل درس في الولايات المتحدة في مجال علم النفس والطب وطب المسالك البولية وله أبحاث في طب تجديد الأنسجة. (المترجم)

أحد الأهداف المستقبلية لهذا المعمل استزراع كبد بشرية، ربما في خلال خمسة أعوام. وهذه الكبد ليست بنفس تعقيد الكبد الحقيقية ولا تتكون سوى من بضعة أنواع من الأنسجة فقط. إن الأكباد المستزرعة معمليا قد تنقذ أرواح الآلاف من البشر، لا سيما أولئك الذين هم في حاجة ماسة لزراع كبد. كما أنها قد تنقذ أرواح مدمني الكحوليات الذين يعانون من التليف الكبدي. (لكن هذا للأسف من الممكن كذلك أن يشجع الناس على الاستمرار في اتباع عادات سيئة، بعد معرفتهم أن بإمكانهم الحصول على أعضاء بديلة تحل محل أعضائهم التالفة).

إذا كان في الإمكان الآن استزراع بعض من أعضاء الجسم، كالقصة الهوائية والمثانة، فما الذي يمنع العلماء من استزراع كل عضو من أعضاء الجسم؟ من المشكلات الرئيسة في ذلك المضمار كيفية استزراع الشعيرات الدموية الدقيقة التي تمد الخلايا بالدم. فكل خلية يجب أن تكون على اتصال بإمداد من الدم. وعلاوة على ذلك، هناك مشكلة استزراع الأعضاء معقدة التركيب. فالكلية على سبيل المثال، وهي العضو الذي يقوم بتنقية الدم من السموم، تتكون من ملايين المرشحات الدقيقة، لهذا فإن قالب هذه المرشحات يصعب جدا خلقه.

غير أن أصعب عضو في استزاعه هو المخ البشري. وبرغم أن إعادة خلق أو استزراع مخ بشري يبدو أمرا غير محتمل الحدوث خلال العقود القادمة، فإنه من المحتمل بدلاً من ذلك حقن خلايا حديثة السن في المخ مباشرة، وهو ما يدخلها ضمن الشبكة العصبية للمخ. إلا أن هذا الحقن لخلايا المخ الجديدة، يكون عشوائيا، وبهذا سيضطّر المريض لإعادة تعلم

العديد من الوظائف الأساسية. لكن لأن المخ (قابل للتشكل) - بمعنى أنه يعيد إيصال الدوائر الكهربائية به بعد أن يتعلم مهام جديدة - فإنه قد يكون قادراً على إدماج تلك النيورونات الجديدة بحيث تعمل على نحو صحيح.

## الخلايا الجذعية

إحدى الخطوات التي تلي ذلك هي تطبيق تقنية الخلايا الجذعية. فحتى الآن، كان استزراع الأعضاء البشرية يتم باستخدام خلايا ليست من الخلايا الجذعية وإنما من الخلايا التي عولجت معالجة خاصة بحيث تنقسم داخل قوالب. وفي المستقبل القريب، لا بد أنه سيكون من الممكن استخدام الخلايا الجذعية مباشرةً.

الخلايا الجذعية هي (أم جميع الخلايا) ولديها القدرة على التحول إلى أي نوع من الخلايا في الجسم. كل خلية من خلايا الجسم لديها الشفرة الوراثية الضرورية لصنع سائر أجزاء جسدنا. لكن مع وصول خلايانا لمرحلة النضوج، فإنها تتخصص، وبهذا تصير العديد من الجينات خاملة. مثال لذلك، برغم أن خلايا الجلد مثلاً تحمل جينات تمكنها من التحول إلى خلايا دم، فإن تلك الجينات تصبح خاملة عندما تتحول الخلية الجنينية إلى خلية جلدية ناضجة.

غير أن الخلايا الجذعية الجنينية تحتفظ بقدرتها على النمو من جديد لتصبح أي نوع من أنواع الخلايا طيلة حياتها. وبرغم أن الخلايا الجذعية الجنينية هي أكثر ما يحتفي به العلماء، فإنها في الوقت نفسه أكثرها إثارة

للجدل، إذ إن الأمر يستدعي التضحية بأحد الأجنة من أجل استخلاص تلك الخلايا، مما يثير بالتالي قضايا أخلاقية. (ومع ذلك، كان لانزرا وزملاؤه في طليعة من حاولوا البحث عن طرق يتم بها الحصول على خلايا جذعية بالغة، تحولت بالفعل إلى نوع معين من الخلايا، ثم تم تحويلها إلى خلايا جذعية جنينية).

تمثل الخلايا الجذعية مستقبل علاج العديد من الأمراض المتنوعة، كالسكري، والقلب، وألزهايمر، وباركنسون، بل وحتى السرطان. في حقيقة الأمر، من الصعب أن نذكر مرضا لا يمكن للخلايا الجذعية أن يكون لها تأثير قوي عليه. ومن المجالات البحثية ذات الأهمية الخاصة في هذا الصدد إصابات الحبل الشوكي، التي كانت تعد ذات يوم غير قابلة للشفاء على الإطلاق. ففي عام 1995، عندما عانى الممثل الوسيم كريستوفر ريف<sup>(1)</sup> Christopher Reeve من إصابة شديدة بالحبل الشوكي نجم عنها شلل كامل، لم يكن هناك علاج لحالته. غير أنه في الدراسات التي أجريت على الحيوانات، تحققت خطوات واسعة في مجال علاج الحبل الشوكي باستخدام الخلايا الجذعية.

على سبيل المثال، حقق ستيفن ديفيز Stephen Davies من جامعة كولورادو نجاحا باهرا في علاج إصابات الحبل الشوكي لدى الفئران.

(1) كريستوفر ريف Christopher Reeve: ممثل ومخرج ومنتج أمريكي الجنسية من أشهر أدواره سوبرمان في الفيلم الشهير الذي أنتج عام 1978 وحقق إيرادات ضخمة وقد توفي عام 2004 بعد أن عانى من إصابة بالحبل الشوكي عام 1995 نتج عنها عجزه الكامل جراء سقوطه من على ظهر جواد، وأسس مؤسسة كريستوفر ريف للأبحاث في مجال العلاج بالخلايا الجذعية. (المترجم)

ويقول عن ذلك، (لقد أجريت بعض التجارب التي زرعت فيها نيورونات بالغة مباشرةً في الجهاز العصبي المركزي لأفراد بالغين. تجارب تنتمي إلى عالم فرانكنشتاين حقا. ولدهشتنا، صارت النيورونات قادرة على إرسال ألياف عصبية جديدة من أحد جانبي المخ إلى الجانب الآخر خلال أسبوع واحد). وفي مجال علاج إصابات الحبل الشوكي، كان الاعتقاد السائد على نطاق واسع أن أي محاولة لإصلاح الأعصاب سوف تخلف ألما مبرحا وضيقا. وقد توصل ديفيز إلى وجود نوع رئيس من الخلايا العصبية، يسمى الخلايا النجمية، ويوجد منها نوعان فرعيان، لكل منهما نتيجة مختلفة عن الآخر.

يقول ديفيز: (عن طريق استخدام الخلايا النجمية الصحيحة في إصلاح إصابات الحبل الشوكي، نحصل على جميع المكاسب دون معاناة، في حين أن الأنواع الأخرى فيما يبدو تقوم بالعكس؛ أي ألم دون أي مكسب). الأدهى من ذلك، أن التقنيات نفسها التي كان هو رائدا فيها باستخدام الخلايا الجذعية تنجح أيضا مع ضحايا السكتات الدماغية ومرضى ألزهايمر وباركنسون حسبما يعتقد.

لما كانت كل خلية من خلايا الجسم في الواقع يمكن أن تخلّق عن طريق تحويل الخلايا الجذعية الجنينية، فإن الاحتمالات لا نهاية لها. إلا أن دوريس تايلور Doris Taylor، مدير مركز الإصلاح القلبي الوعائي بجامعة مينيسوتا، تحذر من أنه ما زال أمامنا الكثير من العمل لنقوم به. فعلى حد قولها: (تمثل الخلايا الجذعية الجنينية شخصيات فيلم الطيب

والشرير والقيبح<sup>(1)</sup>. فعندما تكون طيبة، يمكن استزراعها بأعداد ضخمة في المعمل واستخدامها في تكوين أنسجة وأعضاء أو قطع غيار بشرية. وعندما تكون شريرة، لا تعرف متى تتوقف عن النمو وبالتالي تتحول إلى أورام خبيثة. أما القبيحة؛ حسنا نحن ما زلنا لا نفهم كل المفاتيح، لهذا لا نستطيع السيطرة على النتائج، ونحن لسنا على استعداد لاستخدامها دون إجراء المزيد من الأبحاث في المعمل).

هذه واحدة من المشاكل الرئيسة التي تواجه أبحاث الخلايا الجذعية: مسألة أن تلك الخلايا الجذعية، من دون المفاتيح الكيميائية القادمة من البيئة، قد تواصل الانقسام في وحشية إلى أن تصير سرطانية. ويدرك العلماء الآن أن الرسائل الكيميائية الخفية التي تنتقل بين الخلايا، فتبلغها بتوقيت وموضع نموها وتوقفها عن النمو، لا تقل أهمية بمكان عن الخلايا ذاتها.

ومع ذلك، فقد أحرزنا تقدما وإن كان بطيئا إلا أنه حقيقي، لا سيما على مستوى الدراسات التي تتم على حيوانات المختبر. وكانت أنباء (تايلور) تنصدر عناوين الصحف عام 2008 عندما نجح فريقها البحثي، للمرة الأولى في التاريخ، في استزراع قلب فأر من لا شيء تقريبا. لقد بدأ فريقها بقلب فأر وأذاب الخلايا التي بداخل القلب، فلم يترك منها

(1) (الطيب والشرير والقيبح) The good, the Bad and the Ugly فيلم من إخراج الإيطالي سرجيو ليوني عام 1966 من أفلام الغرب لعب بطولته كلينت إيستود، ولي فان كليف، وإيلي والاش في أدوار الطيب والشرير والقيبح على الترتيب. وتدور قصته حول ثلاثة من أمهر الرماة يتصارعون حول العثور على كنز تركه أحد ضحايا الحرب الأهلية الأمريكية. (المترجم)

سوى قالب مكون من البروتينات على هيئة قلب يؤدي وظيفة السقالة. ثم زرعوا خليطاً من خلايا القلب الجذعية داخل هذا القالب، وراقبوا الخلايا الجذعية وهي تبدأ الانقسام داخل القالب. فيما مضى، كان العلماء قادرين على استزراع كل خلية من خلايا القلب في طبق زجاجي بالمختبر. غير أن هذه كانت المرة الأولى التي يستزرع فيها قلب نابض حقيقي معملياً. كان استزراع القلب يمثل كذلك حدثاً مثيراً لها على المستوى الشخصي: حيث قالت: (إنه لأمر رائع. إذ بإمكانك رؤية شجرة الأوعية الدموية بأكملها، من شرايين إلى أوردة دقيقة الحجم تمد كل خلية من خلايا القلب بالدم).

هناك أيضاً قسم من الحكومة الأمريكية مهتم عن كثب بتحقيق طفرات علمية في مجال هندسة الأنسجة الوراثية، وهو الجيش الأمريكي. في الحروب الماضية، كان معدل الوفيات في ميادين القتال مروعا، إذ كانت أفواج وكتائب بأكملها تباد وكان كثيرون يموتون جراء إصاباتهم. الآن تطير فرق الإجلاء الطبية سريعة الاستجابة بالجرى من العراق وأفغانستان إلى أوروبا أو الولايات المتحدة، حيث يتلقى هؤلاء الجرحى أرقى مستوى من الرعاية الطبية. وبذلك ارتفع معدل النجاة من إصابات الحروب على مستوى جنود المشاة إلى عنان السماء. كذلك ارتفع معدل أعداد الجنود الذين فقدوا أذرعهم وأطرافهم. ونتيجة لذلك، جعل الجيش الأمريكي أولويته في العثور على سبيل لاستزراع الأطراف مرة أخرى.

وحقق معهد الطب التجديدي التابع للقوات المسلحة طفرة علمية غير مسبوقة في استخدام طريقة جديدة تماما في استزراع الأعضاء. لطالما عرف

العلماء أن حيوانات السلمندر لديها قدرات جديدة بالإعجاب على إنبات أعضائها من جديد، وإعادة إنبات أطراف كاملة بعد فقدانها. وتعود تلك الأطراف للنمو من جديد لأن الخلايا الجذعية للسلمندر تنشط لإنبات أطراف جديدة. إحدى النظريات التي يرجى أن تثمر عن نتائج طيبة خضعت للبحث والتنقيب على يد ستيفن باديلاك Stephen Badylak العالم بجامعة بيتسبرج، الذي نجح في إعادة استزراع أطراف الأنامل. لقد صنع فريقه البحثي (غبارا جنيا) لديه قدرة أشبه بالإعجاز على إعادة استزراع الأنسجة. ولا يصنع هذا الغبار من الخلايا وإنما من قالب خارج خلوي يقع بين الخلايا وبعضها. وهذا القالب مهم لأنه يحتوي على إشارات تبلغ الخلايا الجذعية وتأمرها بالنمو بطريقة محددة. وعندما يوضع هذا الغبار الجني فوق طرف الإصبع المبتور، لن يكتفي بتنشيط طرف الإصبع وإنما سينبت أيضا حتى نسيج الظفر، لينتج في النهاية نسخة أقرب ما تكون إلى الإصبع الأصلية. وقد تم إنبات مسافة تصل إلى ثلث بوصة من النسيج والظفر بهذه الطريقة. والهدف التالي أمامهم أن يتم التوسع في هذه العملية حتى يروا إن كان في الإمكان استزراع طرف الإنسان بالكامل أم لا، تماما مثل حيوان السلمندر).

## الاستنساخ

إذا كان باستطاعتنا استزراع أعضاء من الجسم البشري، إذن هل بإمكاننا إعادة إنبات كائن بشري كامل، لنخلق بذلك نسخة وراثية مطابقة تماما، أي إنسان مستنسخ؟ والإجابة هي نعم، من حيث المبدأ، لكن هذا الأمر لم



يتم بالفعل، برغم ورود عديد من التقارير التي تفيد العكس. كانت الكائنات المستنسخة مادة محبة لأفلام هوليوود السينمائية، غير أنها عادةً ما تعود بالعلم إلى الوراء. ففي فيلم (اليوم السادس) The Sixth Day، تخوض الشخصية التي يلعب دورها (أرنولد شوارزنيجر) معارك مع الأشرار الذين أقتنوا فن استنساخ كائنات بشرية. والأهم من ذلك، أنهم أقتنوا فن استنساخ الذاكرة الكاملة لشخص ما، ومن ثم زرع تلك الذاكرة في الكائن المستنسخ. وعندما يسعى شوارزنيجر للقضاء على أحد الأشرار، يظهر له كائن جديد يحمل نفس الشخصية والذاكرة ذاتها. وتعتقد الأمور أكثر عندما يكتشف أن هناك نسخة صنعت له دون علمه. (في الواقع، عندما يستنسخ حيوان ما، لا يمكن استنساخ ذاكرته معه).

لقد ظهر مفهوم الاستنساخ لأول مرة في عناوين الصحف العالمية الرئيسية عام 1997، عندما تمكن أيان ويلموت<sup>(1)</sup> Ian Wilmut، العالم بمعهد روزلين التابع لجامعة أدنبرة من استنساخ النعجة دوللي. فعندما أخذ إحدى خلايا نعجة بالغة، واستخلص منها حمض دي إن آيه، ثم زرع تلك النواة في خلية بويضة، صار (ويلموت) قادراً على إتمام ذلك العمل الفذ بصنع نسخة وراثية من الأصل. وقد سألته ذات مرة هل كانت لديه أدنى فكرة عن العاصفة الهوجاء التي من الممكن أن تثور ضده في وسائل الإعلام جراء اكتشافه التاريخي هذا. فأجاب بالنفي. لقد فهم بوضوح

(1) أيان ويلموت Ian Wilmut: عالم أجنة إنجليزي ولد عام 1944 اشتهر بأنه كان أول من استنسخ كائناً حياً هو النعجة دوللي من فصيلة الدورسميت الفنلندي وكان ذلك عام 1996، وهو يشغل حالياً منصب مدير مركز الطب التجديدي التابع لجامعة أدنبرة. (المترجم)

الأهمية الطبية لعمله غير أنه بخس قدر الافتتان العام باكتشافه هذا. وفي الحال بدأت مجموعات من مختلف أنحاء العالم في تقليد هذا العمل الفذ، فاستنسخوا مجموعة واسعة التنوع من الحيوانات منها الفئران، والماعز، والقطة، والخنزير، والكلاب، والخيول، والماشية. وقد اصطحبت ذات مرة طاقم تصوير (بي بي سي) لنزور (رون ماركيز) التي تقع مباشرةً خارج حدود دالاس بولاية تكساس، وهي كبرى مزارع الماشية المستنسخة في البلاد. وفي هذه المزرعة، أدهشني أن أرى الجيلين الأول والثاني بل والثالث من الماشية المستنسخة؛ نسخ من نسخ من نسخ. وأخبرني (ماركيز) نفسه أنهم سيضطرون لابتكار معجم جديد للمصطلحات حتى يتمكنوا من الاحتفاظ بسجل يتتبع الأجيال المختلفة من الماشية المستنسخة.

ولفت نظري إحدى مجموعات الماشية. كانت حوالي ثمانية من التوائم المتطابقة، تصطف جميعها إلى جوار بعضها. لقد سارت وركضت وتناولت طعامها ورقدت بكل دقة في طابور واحد. ورغم أن العجول ليست لديها أية فكرة عن أنها نسخ من بعضها البعض، فإنها كانت بالفطرة مترابطة معا وكان كل واحد منها يحاكي حركات أخيه.

وأخبرني ماركيز أن استنساخ الماشية كان من المتوقع له أن يمثل تجارةً يسيل لها لعاب المستثمرين. إذا كان لديك أحد الثيران التي تتمتع بمواصفات جسمانية فائقة، فإن بإمكانه أن يجلب لك سعرا عاليا إذا استخدم في التناسل وتربية السلالات. لكن إذا مات هذا الثور، فإن سلسلته الوراثية سوف تضع ما لم تجمع حيواناته المنوية وتجمدها. ومع الاستنساخ، صار

بإمكان المرء المحافظة للأبد على حياة السلسلة الوراثية للثيران التي تحصد الجوائز.

رغم أن للاستنساخ تطبيقات تجارية على الحيوانات وتزاوجها، فإن تطبيقاته على البشر أقل وضوحاً. ورغم وجود عدد من المزايم الحساسة التي تنادي بأن استنساخ البشر قد تحقق، فإن جميعها ربما كان محض احتيال. فحتى الآن، لم ينجح أحد في استنساخ حيوان من الرئيسيات Primates، ناهيك عن الإنسان. وحتى استنساخ الحيوانات ثبتت صعوبة تنفيذه، إذا علمنا أن مئات الأجنة المعيبة تخلق ولا يصل من بينها سوى واحد فقط لمستوى النضوج الكامل.

وحتى إذا صار استنساخ البشر أمراً ممكناً، فإنه توجد عقبات اجتماعية تواجهه. أول شيء أن كثيراً من الأديان تعارض استنساخ البشر، بشكل مشابه للأسلوب الذي اعترضت به الكنيسة الكاثوليكية على أطفال الأنابيب<sup>(1)</sup> سابقاً في عام 1978، عندما صارت لويز براون Louise Brown أول طفلة أنابيب في التاريخ تستقبل أنبوبة اختبار نطفتها. وهذا معناه احتمال صدور قوانين تحظر هذه التقنية، أو على الأقل تفرض عليها محاذير صارمة تنظم عملها. والأمر الثاني، أن الطلب التجاري على استنساخ البشر سوف يكون محدوداً. فعلى أقصى تقدير، ربما لا تكون هناك سوى نسبة من الجنس البشري عبارة عن نسخ، حتى إذا صار هذا

(1) الإخصاب المختبري عملية تخصب فيها البويضة بواسطة الحيوانات المنوية خارج الجسم، وهو علاج رئيس من طرق علاج العقم، وكانت اعتراضات الكنيسة الكاثوليكية عليه أنه مثل منع الحمل يفرغ الزواج من هدفه الموحد للزوجين. (المترجم)

الأمر مشروعاً. وعلى كل، لدينا بالفعل بشر مستنسخون، وهم التوائم المتطابقة (سواء كانوا اثنين أو ثلاثة)، وهكذا فإن حادثة استنساخ البشر سوف تذوي بالتدريج.

في البداية كان الطلب على أطفال الأنابيب هائلاً، إذ كانت هناك أعداد هائلة من الأزواج والزوجات المصابين بالعقم. لكن من ذا الذي يستنسخ إنساناً؟ ربما أبوان ثكلاً طفلهما. أو الأقرب احتمالاً، شخص تقدم به العمر، ثري، يرقد على فراش الموت ولا يوجد له ورثة - أو لا يوجد له ورثة يهتم بأمرهم على وجه التحديد - ويرغب في أن يوصي بكل أمواله لنفسه باعتبار أن نسخته هذه سوف تبدأ الحياة من سن الطفولة من جديد. إذن في المستقبل، ورغم احتمال صدور قوانين تحظر استنساخ البشر، فلربما تظهر بالفعل أناس مستنسخة. على أي حال، لن يمثل هؤلاء سوى نسبة ضئيلة من الجنس البشري وسوف تكون تداعيات هذا الأمر بالغة الضالة.

## العلاج بالجينات

أخبرني فرانسيس كولنز Francis Collins، المدير الحالي للمعاهد القومية للصحة بالولايات المتحدة الذي قاد مشروع الجينوم البشري الحكومي التاريخي، أن (كلاً منا لديه نصف دسنة جينات بها قدر لا بأس به من التلف). وفي الماضي السحيق، كان علينا أن نكتفي بالمعاناة في صمت من تلك العيوب الجينية القاتلة في أغلب الأحيان. أما مستقبلاً، فحسبما أخبرني، سوف نعالج الكثير منها باستخدام العلاج بالجينات.

لقد أقضت الأمراض الوراثية مضجع الإنسانية منذ فجر التاريخ، وفي لحظات فارقة ربما كان لها دور مؤثر فعلاً على مسار التاريخ. ومثال لذلك، أنه بسبب التزاوج بين أفراد الأسر المالكة في أوروبا، ابتليت أجيال من النبلاء بأمراض شتى. فجورج الثالث ملك إنجلترا على سبيل المثال، كان يعاني على الأرجح من بورفيريا<sup>(1)</sup> porphyria حادة متقطعة، وهو مرض يتسبب في نوبات مؤقتة من الجنون. وقد تكهن بعض المؤرخين بأن هذا الأمر جعل العلاقات تسوء بينه وبين المستعمرات البريطانية مما حثها على إعلان استقلالها عن إنجلترا عام 1776.

أما الملكة فيكتوريا، فكانت حاملة لجين الهيموفيليا (مرض نزف الدم)، الذي يتسبب في نزيف الدم المفرط. ولما كانت قد أنجبت تسعة من الأطفال، وتزوج العديد منهم من الأسر المالكة الأخرى في أوروبا، فقد انتشر هذا (المرض الملكي) في جميع أنحاء القارة. ففي روسيا، كان الحفيد الأكبر للملكة فيكتوريا (ألكسيس)، وهو نجل القيصر نيقولا الثاني، يعاني من مرض الهيموفيليا، وأوهم الراهب راسبوتين الأسرة المالكة أنه قادر على السيطرة على المرض ولو بصورة مؤقتة. وحصل هذا (الراهب المجنون) على سطوة كافية أصابت الأسرة الروسية النبيلة بالشلل، فكان يؤخر إصلاحات كثيرة كانت الدولة في أمس الحاجة إليها، وحسب زعم بعض المؤرخين، ساعد ذلك على التعجيل بقيام ثورة البلاشفة عام 1917.

(1) البورفيريا porphyria: اسم يطلق على مجموعة متنوعة من الاضطرابات المتعلقة بمشاكل في إنتاج مركب الهيم وهو جزيء غني بالحديد يوجد أساساً في هيموجلوبين الدم الذي ينقل الأكسجين لسانن الجسم. والبورفيريا الحادة تصيب الجهاز العصبي، وهي نوع وراثي أساساً، ومن أعراضها ألم بالبطن والشعور بالتنميل والتقلصات والقيء والأعراض العقلية. (الترجم)

غير أنه في المستقبل، قد يصير العلاج بالجينات قادراً على شفاء العديد من الخمسة آلاف مرض وراثي المعروفة، مثل التليف الكيسي<sup>(1)</sup> Cystic fibrosis (الذي يصيب سكان شمال أوروبا)، ومرض (تاي ساكس) Tay Sachs - (الذي يصيب يهود أوروبا الشرقية)، وأنيميا الخلية المنجلية (الذي يصيب الأمريكيين ذوي الأصول الأفريقية). وفي المستقبل القريب، لا بد أنه سيكون من الممكن شفاء العديد من الأمراض الوراثية التي تتسبب فيها طفرة أصابت جينا معيناً واحداً.

وهناك نوعان من العلاج بالجينات: الذاتي وذو الخط الجرثومي. أما العلاج بالجينات الذاتية فيعني إصلاح الجينات المعطوبة لشخص واحد. وتتلاشى قيمته العلاجية بوفاة ذلك الشخص. أما العلاج الجيني ذو الخط الجرثومي فهو الأكثر إثارة للجدل، وفيه يتم إصلاح جينات الخلايا التناسلية، وبهذا يمرر الجين الذي يتم إصلاحه للجيل التالي، إلى الأبد تقريباً.

ويأتي شفاء المرض الوراثي في أعقاب طريق طويل، وإن كان ثابت الأركان. فأول شيء، ينبغي للمرء العثور على ضحايا مرض وراثي معين ثم تتبع شجرتهم العائلية، وهو عمل شاق مضنٍ، بالعودة للوراء لعدة أجيال. وعن طريق تحليل جينات هؤلاء الأفراد، يسعى المرء بعد ذلك لتحديد الموقع الدقيق للجين الذي ربما يكون قد أصابه تلف.

(1) التليف الكيسي Cystic fibrosis: مرض وراثي يتصف بوجود شذوذ في الخلايا المصنعة للملح والماء والمخاط، وهو مرض مزمن ومتفاقم وعادة ما يؤدي إلى الوفاة. وبصفة عامة، لا يعيش الأطفال الذين يصابون به بعد سن الثلاثين من أعمارهم. (المترجم)

بعدها يأخذ العالم نسخة سليمة من ذلك الجين، ويزرعها في (متجه) (وهو عادةً فيروس غير ضار)، ثم يحقنها في المريض. وسرعان ما يقوم الفيروس بزرع (الجين الطيب) في خلايا المريض، مما يمكن المريض من الشفاء من المرض بعد ذلك. بحلول عام 2001، كان هناك أكثر من 500 تجربة للعلاج بالجينات إما يجري القيام بها وإما تخضع للتقييم في جميع أنحاء العالم.

غير أن التقدم كان بطيئاً وجاءت النتائج متضاربة. كانت إحدى المشكلات التي واجهت العلماء أن الجسم كثيراً ما يخلط بين هذا الفيروس غير الضار، الذي يحوي بداخله الجين الطيب، وفيروس خطير فيبدأ في مهاجمته. ويتسبب هذا في أعراض جانبية يمكنها أن تقضي على تأثير الجين الطيب. وهناك مشكلة أخرى، وهي أن عدداً غير كافٍ من الفيروس ينجح في زرع الجين الطيب في الخلايا المستهدفة بصورة صحيحة، وبهذا لا ينتج الجسم كمية كافية من البروتين الصحيح.

رغم تلك التعقيدات، أعلن العلماء في فرنسا عام 2000 عن تمكنهم من علاج أطفال يعانون من حالات نقص المناعة الكلية الحاد (SCID)، وهم أطفال ولدوا دون جهاز مناعي مؤدٍ لوظائفه. وبعض المرضى بهذا المرض، مثل (ديفيد صبي الفقاعة)<sup>(1)</sup> The Bubble Boy، يضطرون للعيش داخل

(1) ديفيد فيليب فيستر (1971 - 1984) كان صبياً من تكساس بالولايات المتحدة أرغم نتيجة إصابته بمرض نقص المناعة الكلية الحاد إلى الحياة داخل بيئة معقمة تماماً، وقد اشتهر في وسائل الإعلام بلقب الصبي الذي يعيش في الفقاعة البلاستيكية The Boy in the Plastic Bubble. وقد أمضى معظم حياته في مستشفى الأطفال بتكساس لكنه في عام 1981 خرج من المستشفى ليكون تحت رعاية أبويه طول الوقت. وقد توفى بالسرطان بعد أن نقل له نخاع عظم غير متوافق معه من شقيقته. (المترجم)

فقاعة بلاستيكية معقمة طيلة ما تبقى من حياتهم. فمن دون جهاز مناعة، قد يكون أي مرض يصابون به مهلكاً لهم. وأظهرت التحليلات الجينية لأولئك المرضى أن خلاياهم المناعية استقبلت بداخلها فعلاً جيناً جديداً، حسبما كان مخططاً له، ومن ثم نشط ذلك أجهزتهم المناعية.

غير أنه وقعت انتكاسات لذلك. ففي عام 1999، وفي جامعة بنسلفانيا، توفى أحد المرضى خلال تجربة علاج بالجينات، مما تسبب في جدل أخلاقي داخل المجتمع الطبي في محاولة لمواجهة النفس بشجاعة. كانت تلك أول حالة وفاة من بين 1100 مريض خضعوا لذلك النوع من العلاج الجيني. وبحلول عام 2007، أصيب أربعة من عشرة مرضى شفوا من نوع معين من نقص المناعة الكلي الحاد بأثر جانبي خطير، وهو مرض اللوكيميا أو سرطان الدم. وتتركز أبحاث علاج نقص المناعة الكلي الحاد بالجينات حالياً على علاج المرض دون أن يستحث ذلك بطريق المصادفة جيناً يمكن أن يتسبب في الإصابة بالسرطان. وحتى اليوم، شفي سبعة عشر مريضاً ممن كانوا يعانون من أنواع متباينة من هذا المرض، كما أنهم لم يصابوا بالسرطان، مما يجعل ذلك واحداً من النجاحات القليلة التي حدثت في هذا الميدان.

أحد الأمراض المستهدفة بالعلاج الجيني بالفعل هو السرطان. حوالي 50% من جميع أنواع السرطان الشائعة ترتبط بالجين P53. إن الجين P53 طويل ومعقد التركيب؛ وهذا ما يجعله الأكثر تعرضاً للتلف بفعل عوامل بيئية وكيميائية. لهذا فإن الكثير من تجارب العلاج بالجينات تجرى على زرع جين P53 سليم في المرضى. على سبيل المثال، غالباً ما



يتسبب دخان السجائر في طفرات مميزة لثلاثة مواقع شهيرة داخل الجين P53. لهذا فإن العلاج بالجينات، عن طريق إحلال جين P53 سليم بدلاً من التالف، قد يمكننا ذات يوم من علاج أنواع معينة من سرطان الرئة. كان التقدم بطيئاً لكنه ثابت الخطى. ففي عام 2006، تمكن علماء المعاهد القومية للصحة بماريلاند بنجاح من علاج الميلاانوما الانتشارية، وهو أحد أنواع سرطان الجلد، بتحويل الخلايا التائية القاتلة بحيث تستهدف خلايا السرطان تحديداً. كانت هذه أول دراسة توضح أن العلاج بالجينات يمكن استخدامه بنجاح لعلاج بعض أنواع السرطان. وفي عام 2007، أعلن الأطباء بكلية الجامعة ومستشفى مورفيلدز للعيون بلندن أنهم تمكنوا من استخدام العلاج بالجينات في مداواة نوع معين من أمراض الشبكية الوراثية (تتسبب فيه طفرات تصيب الجين RPE65).

في الوقت نفسه، هناك بعض الأزواج والزوجات الذين لا ينتظرون العلاج بالجينات وإنما يحاولون التحكم في موروثة الجيني بأيديهم. إذ يمكن لزوج وزوجته أن يصنعا عدة أجنة مخصبة باستخدام تقنية الإخصاب المختبري (داخل أنابيب الاختبار). ويمكن بعد ذلك فحص كل جنين من هؤلاء بحثاً عن مرض وراثي معين، ويمكن للزوجين عندئذ اختيار الجنين الخالي من المرض الوراثي كي يزرع في رحم الأم. وبهذه الطريقة، يمكن القضاء بالتدريج على الأمراض الوراثية دونما حاجة للاستعانة بتقنيات العلاج بالجينات باهظة التكلفة. وتجري هذه العملية في الوقت الراهن على بعض اليهود الأرثوذكس في بروكلن ممن لديهم احتمالات مرتفعة للإصابة بمرض (تاي ساكس). لكن هناك مرض واحد، ربما سيظل مميتاً طيلة هذا القرن، ألا وهو السرطان.

## التعايش مع السرطان

في عام 1971، أعلن الرئيس الأمريكي ريتشارد نيكسون Richard Nixon رسمياً ووسط حشد غفير من الجمهور مصحوباً بحملة إعلامية كبيرة حرباً شعواء على مرض السرطان. كان الرئيس مؤمناً بأنه بإنفاق المال الوفير على مرض السرطان سيصير الشفاء منه في متناول أيدينا. لكن الآن وبعد أربعين عاماً (مصحوبة بإنفاق 200 بليون دولار) من ذلك التاريخ، ما زال السرطان يحتل المرتبة الثانية بين أبرز أسباب الوفيات في الولايات المتحدة، فهو مسؤول عن نسبة 25 في المئة من إجمالي حالات الوفاة. ولم ينخفض معدل الوفيات الناجمة عن السرطان إلا بنسبة 5 في المئة بين عامي 1950 و 2005 (بعد تعديل النسبة وفقاً للعمر والعوامل الأخرى). وتشير التقديرات إلى أن السرطان سوف يحصد أرواح 562 ألف أمريكي هذا العام وحده، أو ما يقدر بأكثر من ألف نسمة يومياً. وقد هبطت معدلات الإصابة بالسرطان بالنسبة لأنواع قليلة من المرض غير أنها ظلت ثابتة في عناد في أنواع أخرى. كما أن علاج السرطان الذي من أساليبه التسميم، والاستئصال، وقتل الأنسجة البشرية يترك أثره النفسي على المرضى، الذين كثيراً ما يسألون أنفسهم أيهما أسوأ، المرض أم العلاج.

وإذا عدنا بذاكرتنا إلى الوراء، لأمكننا أن نرى مكمناً الخطأ. ففي ذلك التاريخ، أي عام 1971، وقبل حدوث ثورة في الهندسة الوراثية، كانت أسباب السرطان تعد لغزاً غامضاً تماماً.

أما الآن فقد أدرك العلماء أن السرطان في الأساس مرض يصيب جيناتنا. فسواء كان سببه فيروساً، أو التعرض لكيموويات معينة أو إشعاع أو

بالمصادفة، فإن السرطان من الناحية الجذرية عبارة عن طفرات تصيب أربعا أو أكثر من جيناتنا، وتجعل خلية عادية (تنسى كيف تموت). إن الخلية تفقد السيطرة على عملية التكاثر فتظل تتكاثر دون حدود، وفي نهاية المطاف تقتل المريض. ومسألة أنه يحتاج إلى سلسلة متتابعة من أربعة جينات معيبة أو أكثر حتى يحدث ربما كانت هي ما يفسر استغراقه في الغالب لعقود من السنوات قبل أن يتسبب في وفاة المريض بعد حدوث الواقعة المسببة الأصلية. فمثلاً قد يُصاب شخص وهو طفل بلفح شمسي شديد. وبعدها بعدة عقود، يصاب هذا الشخص بسرطان الجلد في الموضع ذاته. ومعنى ذلك أنه ربما استغرق كل هذه المدة الطويلة في وقوع طفرات أخرى ثم دفع الخلية في النهاية نحو الانزلاق إلى تحول سرطاني.

هناك على الأقل نوعان رئيسان من تلك الجينات المسببة للسرطان هما الجينات الورمية وكابحات الأورام، وتؤديان وظيفة أقرب إلى وظيفة دواستي البنزين والفرامل. فالجينات الورمية تؤدي وظيفة دواستي زيادة السرعة التي ضغطت لأسفل واستمرت على هذا الوضع، وهكذا تزداد سرعة السيارة إلى الحد الذي يخرجها عن نطاق سيطرة قائدها، فتترك الخلية تتكاثر دون أن يوقفها شيء. أما كابحة الأورام فإنها تؤدي عادةً دور فرامل السيارة، لهذا فإنها عندما تعطب، تصير الخلية مثل السيارة التي بلا فرامل فلا يمكنها التوقف.

ويخطط مشروع جينوم السرطان لمعرفة تسلسل جينات معظم أنواع السرطان. ولما كان كل نوع من أنواع السرطان يحتاج لمعرفة تسلسل الجينوم البشري، فإن مشروع جينوم السرطان بذلك يعد أكثر طموحا

مئات المرات من مشروع الجينوم البشري الأصلي. وقد أعلنت عام 2009 بعض النتائج الأولى لمشروع جينوم السرطان الذي طال انتظاره وكانت تتعلق بسرطاني الجلد والرئة. وكانت النتائج جد مذهلة. قال مايك ستراتون Mike Stratton الباحث بمعهد (ويلكم تراست سانجر) Wellcome Trust Sanger: (ما نراه اليوم سوف يصنع تحولاً في طريقة رؤيتنا لمرض السرطان. ولم يسبق لنا مطلقاً أن شاهدنا أسرار السرطان تنكشف أمامنا على هذا النحو من قبل).

لقد أظهرت الخلايا المأخوذة من سرطان الرئة طفرات جينية عددها مذهل بلغ 23 ألف طفرة، في حين وجد بخلية سرطان الجلد (الميلانوما) 33 ألف طفرة. ومعنى هذا أن المدخن التقليدي تحدث له طفرة واحدة كل خمس عشرة سيجارة يدخنها. (سرطان الرئة يقتل مليون شخص سنوياً في جميع أنحاء العالم، غالباً بسبب التدخين).

ويتمثل الهدف في التحليل الوراثي لجميع أنواع السرطان، والتي يوجد منها أكثر من 100 نوع. وهناك العديد من الأنسجة في الجسم، جميعها يمكن أن تصاب بالسرطان؛ وهناك العديد من أنواع السرطان لكل نوع نسيج؛ وعشرات الآلاف من الطفرات التحولية لكل نوع من أنواع السرطان. ولما كان كل نوع سرطان تدخل فيه عشرات الآلاف من الطفرات المحتملة، لذا قد يستغرق الأمر عدة عقود حتى نتمكن من العزل الدقيق لتلك الطفرات المسببة لجنون آليات الخلية. وسوف يتوصل العلماء لعلاجات لأنواع شتى من السرطان، لكنهم لن يعثروا على علاج واحد شافٍ منها جميعاً، لأن السرطان ذاته يشبه الإصابة بمجموعة من الأمراض.

وسوف تواصل علاجات وطرق علاجية جديدة دخول السوق، وجميعها مصمم بحيث يستهدف السرطان عند جذوره الجزيئية والوراثية. ومن بين العلاجات الواعدة ما يلي:

- منع النشوء الوعائي أو قطع الإمداد الدموي عن الورم السرطاني حتى لا ينمو أبدا.

- جسيمات النانو، التي تشبه (القنابل الذكية) التي توجه نحو خلايا السرطان.

- العلاج بالجينات، خاصةً للجين P53.

- عقاقير جديدة تستهدف خلايا السرطان دون غيرها.

- تطعيمات جديدة ضد الفيروسات التي من الممكن أن تسبب في السرطان، مثل فيروس البابيلوما (الورم الحليمي) البشري (HPV) الذي يسبب سرطان عنق الرحم.

للأسف، من غير المحتمل أن نعثر على العصا السحرية التي تقضي على مرض السرطان. لكن سنعالج المرض خطوة خطوة. والأقرب احتمالاً، أنخفض الأساسي لمعدلات الوفيات سوف يتحقق عندما تنتشر رقاقات دي إن آيه في أنحاء بيتنا، فتفرض علينا رقابة مستمرة لتكشف عن الخلايا السرطانية قبل أن يتكون الورم بسنوات.

ومثلما ذكر ديفيد بالتي مور العالم الحائز على جائزة نوبل، (السرطان جيش من الخلايا يقاتل شتى صنوف العلاج التي نستخدمها متبعاً أساليب، أنا على يقين من أنها، ستبقينا دوماً داخل حلبة القتال).

## منتصف القرن (2030 إلى 2070)

### العلاج بالجينات

رغم الانتكاسات التي حدثت في مجال العلاج بالجينات، يؤمن الباحثون بأن ثمة مكاسب ثابتة الخطى سوف تتحقق خلال العقود المقبلة. بحلول منتصف هذا القرن، حسبما يعتقد كثيرون، سوف يصبح العلاج بالجينات الأسلوب المتعارف عليه لعلاج الكثير من الأمراض الوراثية المختلفة. وسوف يترجم قدر كبير من النجاح الذي حققه العلماء على مستوى الدراسات التي أجريت على الحيوان في نهاية المطاف إلى دراسات تجرى على البشر.

حتى الآن، استهدف العلاج بالجينات الأمراض التي تصيبنا بسبب طفرات لحقت بجين واحد فقط، وسوف تكون تلك الأمراض أول ما يتحقق فيه الشفاء؛ لكن العديد من الأمراض تحدث بسبب طفرات تلحق بجينات متعددة، بجانب محفزات آتية من البيئة المحيطة. وهذه الأمراض أكثر صعوبة بكثير في علاجها، غير أنها تشمل أمراضا غاية في الأهمية كالسكري، والفصام، وألزهايمر، وباركنسون، والقلب. فجميعها يظهر أنماطا وراثية محددة، لكن لا يوجد جين واحد مسؤول عن كل مرض. فعلى سبيل المثال، من الممكن أن تجد شخصا مصابا بالفصام بينما توأمه المطابق له طبيعي.

وعلى مدار سنوات عدة، صدرت عدة تصريحات عن تمكن العلماء من

عزل بعض الجينات المسؤولة عن الفصام عن طريق تتبع التاريخ الوراثي لعائلات بعينها. غير أن الأمر المربك أن تلك النتائج غالبا ما لا يتم التحقق منها في دراسات أخرى مستقلة. إذن هذه النتائج معيبة، أو ربما كانت هناك جينات عديدة تتدخل في الإصابة بالفصام. أضف إلى ذلك، أن هناك عوامل بيئية تتدخل فيما يبدو في هذا.

وبحلول منتصف هذا القرن، من المؤكد أن العلاج بالجينات سوف يصبح علاجا ثابت الأركان، على الأقل فيما يخص الأمراض التي يتسبب فيها جين واحد. غير أن المرضى قد لا يقنعون بمجرد إصلاح الجينات. فهم يرغبون أيضا في الارتقاء بها نحو الأفضل.

## تصميم أطفال حسب الطلب

بحلول منتصف القرن، سوف يتجاوز العلماء مسألة إصلاح الجينات المعطوبة نحو الارتقاء بها للأفضل.

إن الرغبة في امتلاك قدرات (سوبرمان) رغبة موهنة في القدم، تمتد جذورها إلى أعماق الأساطير الإغريقية والرومانية وفي أحلامنا أيضا. حاز البطل الروماني (هرقل)، وهو واحد من أشهر أنصاف الآلهة الإغريق والرومان، على قدراته الخارقة لا من التدريب الرياضي والنظام الغذائي وإنما من خلال حقنه بجينات إلهية. كانت أمه (ألكمين) من البشر لكنها كانت آية في الجمال، وذات يوم استرعت أنظار (زيوس)، الذي تخفى في صورة زوجه الكي يمارس معها الحب. وعندما حبلت في طفلها، أعلن زيوس أن الطفل سوف يصبح محاربا عظيما في يوم من الأيام. غير

أن زوجة (زيوس)، هيرا، أصابتها الغيرة فخططت سرا لقتل الرضيع بتأخير مولده. وكادت ألكمين تلقى حتفها وهي تتعذب من آلام الوضع الذي طال أمده كثيرا، لكن خطة هيرا انكشفت في آخر دقيقة وولدت ألكمين طفلاً ضخماً بصورة غير عادية. وورث هرقل الذي كان نصف إنسان ونصف إله معا، قوة أشبه بقوة الآلهة من أبيه ليحقق أعمالاً بطولية وأسطورية.

وفي المستقبل، ربما لا نكون قادرين على خلق جينات آلهة، لكن من المؤكد أننا سوف نكون قادرين على خلق جينات تمنحنا قدرات السوبرمان. ومثل ولادة هرقل العسرة، سوف نواجه الكثير من الصعوبات إلى أن نصل بهذه التقنية إلى مرحلة الإثمار.

بحلول منتصف القرن، من المؤكد أن فكرة (تصميم أطفال حسب المواصفات) المطلوبة سوف تصبح حقيقة واقعة. وحسبما قال عالم الأحياء بجامعة هارفارد إي أوه ويلسون E. O. Wilson: (الإنسان، أول نوع يتمتع بحريته بحق، صار على وشك التخلي عن عملية الانتخاب الطبيعي، وهي القوة التي صنعتنا... فسرعان ما سيكون علينا أن ننظر بعمق في أنفسنا وأن نقرر ما نتمنى أن نصير عليه).

يقوم العلماء بالفعل بتمزيق الجينات التي تتحكم في الوظائف الأساسية إلى شظايا. على سبيل المثال، جين (الفأر الذكي)، الذي يحسن ذاكرة الفئران وأداءها، تم عزله عام 1999. إن الفئران التي تملك الجين الذكي أقدر على اجتياز المتاهات وتذكر الأشياء.

خلق علماء جامعة برينستون University Princeton من أمثال جوزيف



تجني Joseph Tsien سلالة من الفئران المعدلة وراثيا تحمل جينا إضافيا اسمه NR2B يساعد على تنشيط عملية إنتاج الناقل العصبي ن - ميثيل - د - أسبارتيت (NMDA) في المخ الأمامي للفئران. وأطلق صانعو الفئران الذكية عليها اسم (فئران دوجي) (تيمنا باسم الشخصية التلفزيونية د. دوجي هاووزر (Doogie Howser)<sup>(1)</sup>.

فاقت تلك الفئران الذكية الفئران العادية في أدائها لمختلف الاختبارات. فإذا وضع أحد الفئران في راقود (حوض) مملوء بالماء المخلوط بالحليب، فإن عليه أن يبحث عن رصيف خفي أسفل سطح الماء مباشرة كي يستريح عليه. إن الفئران العادية تنسى موقع هذا الرصيف فتظل تسبح بصورة عشوائية في أنحاء الراقود، في حين تتجه الفئران الذكية إليه مباشرة من المحاولة الأولى. وإذا عُرض على الفئران جسمان، أحدهما قديم والآخر جديد، فإن الفئران العادية لا تعبر انتباهها لوجود جسم جديد. غير أن الفئران الذكية تتعرف على الفور على هذا الجسم الجديد.

أهم شيء أن العلماء يفهمون آلية عمل تلك الجينات التي تحملها الفئران الذكية: إنها تنظم عمل المشابك Synapses العصبية بالمخ. إذا كنت تعتقد أن المخ عبارة عن مجموعة واسعة من الطرق الحرة، فإن المشبك هنا يمثل كشك تحصيل رسوم العبور. إذا كانت الرسوم باهظة، فإن السيارات لن تتمكن من عبور البوابة: فتتوقف الرسالة داخل المخ. لكن إذا كانت رسوم

(1) د. دوجي هاووزر Doogie Howser: كوميديا تلفزيونية أمريكية بطولة الممثل نيل باتريك هاريس الذي يلعب دور طبيب عمره 16 عامًا ويواجه في الوقت نفسه مشكلاته الشخصية كمراهق، وقد عرضت حلقاتها بين عامي 1989 و1993 فيما مجموعه 97 حلقة. (المترجم)

العبور مخفضة، فإن السيارات تتمكن من اجتياز البوابة فتواصل الرسالة انتقالها عبر أنحاء المخ. إن الناقلات العصبية مثل مادة NMDA تعمل على خفض رسوم العبور عند المشبك، وبذلك تمكن الرسائل من المرور بحرية. ولدى الفئران الذكية نسختان من جين NR2B، والذي يساعد بدوره على إنتاج الناقل العصبي NMDA.

وتؤكد تلك الفئران الذكية على صحة قاعدة (هَبْ) Hebb: إن اكتساب المعرفة يتم عندما يحدث تعزيز لمسارات عصبية معينة. وتحديدًا، يمكن تعزيز تلك المسارات عن طريق تنظيم عمل المشبك الذي يربط بين ليفتين عصبيتين، فيفسر بذلك على الإشارات العصبية عبور المشبك.

قد تساعد هذه النتيجة على تفسير سمات خاصة تميز العملية التعليمية. فلقد كان معروفًا أن الحيوانات التي يتقدم بها العمر تقل قدرتها على اكتساب المعرفة. ويشاهد العلماء هذا في جميع أرجاء المملكة الحيوانية. وقد يكون تفسير هذا أن جين NR2B يقل نشاطه مع زحف الشيخوخة. كذلك، وكما رأينا من قبل مع قاعدة هب، فإن الذكريات من الممكن أن تُخلق عندما تشكل الخلايا العصبية رابطة قوية. وقد يكون هذا صحيحًا، إذ إن تنشيط مستقبل NMDA يصنع رابطة قوية.

## جين الفأر الجبار

إضافة إلى ذلك، تم عزل (جين الفأر الجبار)، الذي يعمل على زيادة الكتلة العضلية بحيث يبدو الفأر مفتول العضلات. لقد عثر عليه في البداية لدى فئران تتمتع بعضلات ذات ضخامة استثنائية. وقد أدرك العلماء

الآن أن المفتاح يكمن في جين الميوستاتين، الذي يساعد على تحجيم النمو العضلي. لكن في عام 1997، اكتشف العلماء أنه عند إسكات جين الميوستاتين لدى الفئران، فإن النمو العضلي يزداد بدرجة هائلة.

وهناك فتح علمي آخر حدث بعدها بوقت قصير في ألمانيا، عندما قام العلماء بفحص صبي حديث الولادة يتمتع بعضلات غير عادية بكل من فخذه وذراعيه. وأظهر تحليل باستخدام الموجات فوق الصوتية أن عضلات هذا الصبي تتمتع بحجم يبلغ ضعفي الحجم الطبيعي. وتتبع تسلسل جينات هذا الصبي وكذا ترتيب جينات والدته (وكانت عداة محترقة)، اكتشفوا تشابه النمط الوراثي لهما. والحقيقة أن تحليل دم الصبي أظهر عدم وجود ميوستاتين لديه على الإطلاق.

كان علماء كلية طب (جونز هوبكنز) شغوفين في بادئ الأمر بالاتصال بالمرضى الذين يعانون من اضطرابات الضمور العضلي الذين من الجائز أن يستفيدوا من تلك النتيجة، غير أن أملهم خاب عندما وجدوا أن نصف عدد المكالمات جاءتهم من لاعبي كمال أجسام أرادوا الحصول على الجين من أجل زيادة أحجام عضلاتهم، بصرف النظر عن العواقب. ولعل هؤلاء اللاعبين كانوا راغبين في تكرار النجاح الأسطوري الذي حققه (أرنولد شوارزنجيغر) الذي اعترف بتناوله المنشطات في بداية حياته لكي يحقق قفزات هائلة في مجاله الرياضي. ونظرا للاهتمام الشديد بجين الميوستاتين وطرق كبحه، فإن اللجنة الأولمبية اضطرت لتشكيل لجنة فرعية مختصة بالنظر في أمره. على عكس المنشطات الاستيرويدية، التي يسهل نسبيا كشفها من خلال التحاليل الكيميائية، فإن هذا الأسلوب الجديد، ونظرا

لتضمنه للجينات والبروتينات التي تصنعها، أكثر صعوبة في اكتشافه بكثير.

تبين الدراسات التي أجريت على التوائم المتطابقة الذين فصل كل واحد منهم عن أخيه عند الميلاد وجود مجموعة واسعة التنوع من السمات السلوكية التي تتأثر بالوراثة. في حقيقة الأمر، أن هذه الدراسات تبين أن حوالي 50 % من سلوكيات التوائم تتأثر بالجينات، بينما تتأثر الخمسون بالمئة الأخرى بالبيئة المحيطة. ومن بين هذه السمات الذاكرة، والمنطق اللفظي، والمنطق المكاني، وسرعة المعالجة، والانفتاح على الآخرين، والبحث عن الإثارة.

حتى السلوكيات التي كان يظن يوما ما أنها معقدة بدأت الآن تكشف عن جذورها الوراثية. مثال لذلك أن فئران البراري أحادية التزاوج، أي يكفي كل فأر بزوجة واحدة. أما فئران المختبرات فإنها متعددة التزاوج، أي أن الفأر الواحد يتزوج العديد من الإناث دون تفرقة. وقد أذهل لاري يانج Larry Young، العالم بجامعة إيموري، عالم التكنولوجيا الحيوية عندما أوضح أن نقل جين واحد من فئران البراري إلى الفئران العادية جعلها تتصف بصفة أحادية التزاوج. كل حيوان يحمل نسخة مختلفة من مستقبل معين لببتيد مخي مرتبط بسلوك اجتماعي وأسلوب في اتخاذ شريك الحياة. لقد زرع يانج جين فأر البراري الخاص بهذا المستقبل في الفئران العادية، فاكشف أن الفئران أظهرت بعد ذلك سلوكا أقرب إلى سلوك فئران البراري أحادية التزاوج.

وقال (يانج): رغم احتمال تدخل العديد من العوامل الوراثية في

تطور السلوكيات الاجتماعية المعقدة مثل الاكتفاء بزوجة واحدة.. فإن التغيرات في التعبير عن عامل وراثي واحد قد يكون لها أثرها في التعبير عن مكونات تلك السلوكيات، مثل الانتماء.

الاكتئاب والسعادة أيضا ربما كانت لهما جذور وراثية. لقد عرف منذ زمن بعيد أن هناك أناسا يظلون سعداء حتى وإن تعرضوا لحوادث مأساوية. إنهم دائما ما يرون نصف الكوب الممتلئ والجانب المشرق من أي شيء، حتى في مواجهة أزمات وانتكاسات قد تكون مدمرة لأناس آخرين. أولئك الناس كذلك عادةً ما يكونون متمتعين بصحة أفضل. وقد أخبرني عالم النفس بجامعة هارفارد (دانيال جيلبرت) Daniel Gilbert أن هناك نظرية يمكنها تفسير هذا الأمر. فلعلنا نولد وبداخلنا (نقطة محددة للسعادة). ويوما بعد يوم قد تتأرجح ارتفاعا وهبوطا حول تلك النقطة المحددة، لكن مستواها يظل ثابتا عند مستوى لحظة الميلاد. وفي المستقبل، من خلال العقاقير والعلاج بالهندسة الوراثية، قد يكون المرء قادرا على تحريك هذه النقطة المحددة، لا سيما إن كان من هؤلاء المصابين باكتئاب مزمن.

## الآثار الجانبية لثورة البيوتكنولوجي

بحلول منتصف هذا القرن، سيتمكن العلماء من عزل وتغيير العديد من الجينات المنفردة التي تتحكم في سمات إنسانية متنوعة. غير أن هذا ليس معناه أن الإنسانية سوف تستفيد منها استفادة فورية. فما زال هناك عمل شاق ومضن علينا القيام به للتغلب على الآثار الجانبية والعواقب غير

المربوب فيها، وهو عمل قد يحتاج منا لعقود من السنوات. مثال لذلك، أن (أخيل) كان بطلاً لا يقهر في أي نزال يخوضه، فقاد الإغريق للنصر في معركتهم الحاسمة مع الطرواديين. لكن قوته كان بها عيب قاتل. فعندما كان طفلاً رضيعاً، غمرته أمه في نهر (ستيكس) السحري كي تجعل منه بطلاً لا يقهر. لكنها للأسف اضطرت للإمساك به من كعبه أثناء غمره في مياه النهر، تاركة نقطة مؤثرة من جسده تعاني من الضعف. وبعدها، لقي مصرعه أثناء حرب طروادة، عندما أصاب سهم كعبه.

واليوم، يتساءل العلماء إن كانت السلالات الجديدة من المخلوقات التي تخرج من معاملهم لديها هي الأخرى مسألة (كعب أخيل) خفية أم لا. على سبيل المثال، هناك اليوم حوالي ثلاث وثلاثين سلالة مختلفة من (الفئران الذكية) التي تتمتع بذاكرة وأداء أفضل. غير أنه هناك أثر جانبي غير متوقع لامتلاك ذاكرة أقوى؛ الفئران الذكية في بعض الأحيان يصيبها الخوف بالشلل. فإذا تعرضت مثلاً لصدمة كهربائية بالغة الضعف، فإنها ترتجف في فزع. يقول ألشينو سيلفا Alcino Silva، الباحث بجامعة كاليفورنيا ببلوس أنجلوس، الذي طور سلالته الخاصة من الفئران الذكية: (إن الأمر يشبه شخصاً يتذكر أكثر من اللازم). ويدرك العلماء الآن أن النسيان ربما كان بنفس أهمية التذكر حتى يكون هذا العالم منطقياً وحتى ننظم معرفتنا. ربما كان علينا أن نتخلص من الكثير من الملفات حتى ننظم معرفتنا.

ويذكرنا هذا بحالة يعود تاريخها إلى العشرينيات، وثقها طبيب المخ

والأعصاب الروسي أيه. آر. لوريا، لرجل لديه ذاكرة فوتوغرافية. فبعد أن قرأ الكوميديا الإلهية لدانتي مرة واحدة فقط، تذكر كل كلمة جاءت فيها. وكان هذا الأمر مفيداً له في عمله كمراسل صحفي، غير أنه كان عاجزاً عن فهم المفردات اللغوية. ولاحظ لوريا ما يلي: (كانت العوائق أمام فهمه كاسحة: فكل مصطلح كان يعطيه صورة؛ وهذه بدورها كانت تتعارض مع صورة أخرى استثيرت).

في حقيقة الأمر، يؤمن العلماء بضرورة وجود توازن بين النسيان والتذكر. إذا كنت تنسى بصورة مبالغ فيها، فربما تكون قادراً على نسيان ألم أخطائك السابقة، لكنك تنسى في الوقت ذاته حقائق ومهارات أساسية. وإذا كنت تتذكر أكثر من اللازم، فلربما تصبح قادراً على تذكر تفاصيل مهمة، لكنك قد تصاب بالشلل من جراء ذكرى كل ألم وانتكاسة أصابتك. فقط التوازن بين هاتين الملكتين هو الذي يحقق الفهم الأمثل.

لأعبو كمال الأجسام يتجهون بالفعل إلى عقاقير وعلاجات متنوعة تعدهم بتحقيق الشهرة والمجد. يعمل هرمون الإريثروبويتين EPO بتصنيع أعداد أكبر من خلايا الدم الحمراء التي تحمل الأكسجين، وهو ما يعني زيادة القدرة على التحمل. ولما كان هرمون الإريثروبويتين يؤدي إلى زيادة غلظة قوام الدم، فقد ارتبط في الوقت نفسه بالسكتات الدماغية والنوبات القلبية. وعوامل النمو الشبيهة بالأنسولين IGF مفيدة لأنها تساعد البروتينات على تكوين كتلة عضلية ضخمة، غير أنها ارتبطت بنمو الأورام.

حتى إذا أجيّزت قوانين تحظر عمليات التحسين بالهندسة الوراثية، فإن

منعها سيكون أمراً عسيراً. مثال لذلك، الآباء الذين لديهم ميل وراثي من قديم الأزل نحو الرغبة لتحقيق كل ميزة ممكنة لأبنائهم. من ناحية ربما كان هذا معناه الاشتراك لهم في دروس عزف الكمان، ورقص الباليه، وممارسة الرياضات. لكنه من ناحية أخرى، قد يعني إجراء تحسينات بالهندسة الوراثية بهدف تحسين ذاكرتهم، وإطالة فترات انتباههم، وقدراتهم الرياضية، بل وحتى تحسين مظهرهم الخارجي. إذا اكتشف أبوان أن طفلهمما يتبارى مع طفل أحد الجيران الذي تناثرت حوله الأقاويل أنه أجريت له عملية تحسين وراثي، فسوف يكون هناك ضغط هائل عليهما لكي يقدموا الميزة نفسها لطفلهمما.

ومثلاً ذكر جريجوري بينفورد Gregory Benford: (نعلم جميعاً أن الأشخاص أصحاب المظهر الطيب حسني الملامح يبلون بلاءً حسناً في الحياة. فأبي أبوين هذين اللذين يمكنهما مقاومة الزعم بأنهما يقدمان لطفلهمما ميزة قوية كتلك وسط عالم اليوم الذي تحتدم فيه المنافسة الضارية؟).

وبحلول منتصف هذا القرن، قد تصبح عمليات التحسين الوراثي أمراً شائعاً. وحقيقة الأمر، ربما يصل الأمر بالتحسينات الوراثية إلى أن تصبح أمراً لا غنى عنه إذا أردنا استكشاف المجموعة الشمسية وأن نعيش على كواكب لا تصلح للحياة عليها.

ويقول البعض إنه يتعين علينا أن نستعين بجينات المصمم حتى نتمتع بصحة أفضل ونصير أسعد حالاً. بينما يقول آخرون إننا يجب أن نسمح بإجراء تحسينات تجميلية. والسؤال المهم الآن إلى أي مدى ستمضي تلك



التحسينات. تحت أي ظرف، قد يزداد الأمر صعوبة يوماً بعد يوم أن تتم السيطرة على انتشار (جينات المصمم) التي تعمل على تحسين الملامح والأداء. إننا لا نريد أن ينقسم الجنس البشري إلى فصائل وراثية مختلفة، محسنة وغير محسنة، غير أن المجتمع سوف يتعين عليه أن يقرر بشكل ديمقراطي المدى الذي سيدفع هذه التكنولوجيا نحوه.

واعتقادي الشخصي، أنه سوف تمرر قوانين من أجل تنظيم هذه التقنية ذات القدرة العالية، ربما بالسماح للعلاج بالجينات إذا وجد، بأن يعالج مرضاً ما وأن نحيا كمنتجين، لكن مع الحد من هذا العلاج إذا كان الهدف منه تجميلياً بحتاً. ومعنى هذا أن سوقاً سوداء قد تظهر في نهاية الأمر للالتفاف حول تلك القوانين، لهذا يجب علينا التأقلم مع مجتمع تكون نسبة ضئيلة من سكانه محسنة وراثياً.

الأغلب الأعم أن هذا الأمر قد لا يمثل كارثة. فهناك بالفعل من يلجؤون لجراحات التجميل لتحسين مظهرهم، لهذا فإن الاستعانة بالهندسة الوراثية للقيام بذلك قد لا تكون ضرورية. لكن الخطر ربما ينشأ من محاولة البعض تغيير شخصيته بأسلوب وراثي. ولعل هناك العديد من الجينات التي تؤثر على السلوك، وهي تتفاعل معاً بطرق معقدة، لهذا فإن اللعب بالجينات السلوكية قد يخلق آثاراً جانبية غير مقصودة. وقد يستغرق الأمر عقوداً لفرز جميع تلك الآثار الجانبية وتمييز الصالح والطالح من بينها.

لكن ماذا عن أعظم التحسينات الوراثية التي أجريت حتى الآن، ونعني بها إطالة عمر الإنسان؟

## المستقبل البعيد (2070 - 2100)

### رجوع الشيخ إلى صباه

طيلة دروب التاريخ، كان الملوك والقادة العسكريون يملكون القدرة على فرض سيطرتهم على ممالك وإمبراطوريات بأسرها، غير أن أمرا واحدا ظل منذ الأزل خارج نطاق سيطرتهم: الشيخوخة. ومن ثم، فإن السعي نحو الخلود ظل واحدا من أقدم ما سعى إليه الإنسان طوال تاريخه. ذُكر في الكتاب المقدس أن الرب طرد آدم وحواء من جنة عدن لعصيانهما أوامره وأكلهما من تفاحة المعرفة. خشي الرب من أن يستخدم آدم وحواء تلك المعرفة في إماطة اللثام عن سر الخلود وأن يصيرا إلهين. وفي سفر التكوين 3:22، يقول الكتاب المقدس: (هو ذا الإنسان قد صار كواحد منا عارفاً الخير والشر، والآن لعله يمد يده ويأخذ من شجرة الحياة أيضاً، ويأكل ويحيا إلى الأبد).

وبجانب الكتاب المقدس، هناك واحدة من أقدم وأعظم الحكايات في تاريخ الحضارة الإنسانية، التي يعود تاريخها إلى القرن السابع والعشرين قبل الميلاد، وهي (ملحمة جلجامش) The Epic of Gilgamesh، التي تحكي عن المحارب العظيم الذي عاش في بلاد ما بين النهرين. فعندما توفى على حين غرة رفيقه الوفي الذي رافقه طيلة حياته، قرر جلجامش القيام برحلة لاستكشاف سر الخلود. وقد سمع شائعات عن رجل حكيم وزوجته اللذين منحتهما الآلهة هبة الخلود، وكانا في الواقع، الوحيد

على الأرض اللذين نجيا من الطوفان. اكتشف جلعامش بعد فتوحات ملحمية أخيراً سر الخلود، ليجد أن حية اختطفته في آخر لحظة.

ولما كانت ملحمة جلعامش واحدة من أقدم القطع الأدبية، فإن المؤرخين يعتقدون أن هذا البحث عن الخلود هو ما ألهم الأديب الإغريقي هوميروس Homer ملحمة (الأوديسا) Odyssey، وأنها كانت أيضاً الإلهام وراء طوفان نوح المذكور في الكتاب المقدس.

العديد من الملوك القدامى – مثل الإمبراطور (كين)، الذي وحد الصين حوالي عام 200 قبل الميلاد – أرسلوا أساطيل بحرية ضخمة للبحث عن (ينبوع الشباب)، لكنها أخفقت جميعاً. (ووفق الأساطير، كانت تعليمات الإمبراطور كين لأسطوله ألا يعود إذا أخفق في العثور على ينبوع الشباب. وهكذا لما عجزوا عن العثور على ينبوع، لكنهم خشوا وملاهم رعب شديد من العودة للصين، أسسوا دولة اليابان بدلاً من ذلك).

على مر عقود، آمن معظم العلماء بأن العمر ثابت ولا يمكن تغيير عدد سنينه، فهذا الأمر يخرج عن متناول أيدي العلم. وخلال السنوات القليلة الماضية، ترنح هذا الرأي تحت ضربات معاول سلسلة مذهلة من نتائج التجارب التي أحدثت ثورة في هذا الميدان. وعاد الآن علم الشيخوخة، الذي كان في طي النسيان من قبل، إلى واجهة المشهد من جديد ليصبح من أكثر الميادين سخونة، فجذب مئات الملايين من الدولارات في صورة أرصدة تمويل أبحاث بل وطرح حتى إمكانية تطويره تجارياً.

الآن بدأت تتكشف أسرار عملية الشيخوخة، ولسوف يلعب علم الوراثة دوراً محورياً في هذه العملية. إننا إذا نظرنا إلى مملكة الحيوان، لرأينا

تنوعاً هائلاً في أعمار الكائنات. مثال لذلك، أن حمضنا النووي دي إن آيه لا يختلف عن دي إن آيه أقرب قريب جيني لنا وهو الشمبانزي، سوى بنسبة 1،5 في المئة فقط، لكن نعيش عمراً أطول من عمره بنسبة 50 %. وبتحليل حفنة من الجينات التي تختلف فيها عن الشمبانزي، قد نستطيع الوقوف على السبب الذي يجعلنا نعيش عمراً أطول من عمر قريبنا الجيني.

وهذا بدوره قدم لنا (النظرية الموحدة للشيخوخة) التي جمعت الخيوط المختلفة للأبحاث في نسيج واحد متماسك. فالعلماء صاروا الآن يعرفون ما هي الشيخوخة. إنها عبارة عن تجمع لأخطاء على المستويين الوراثي والخليوي. وقد تراكمت هذه الأخطاء بسبل متنوعة. فعلى سبيل المثال، ينتج عن التمثيل الغذائي شوارد حرة وأكسدة، تدمر الميكنة الجزيئية الدقيقة لخلايانا، مما يجعلها تشيخ؛ وقد تراكمت هذه الأخطاء على هيئة نفايات جزيئية أشبه (بالقمامة) داخل وخارج الخلايا.

إن تراكمت أخطائنا الجينية هذه يعد ناتجاً ثانوياً للقانون الثاني للديناميكية الحرارية: مجموع الإنتروبيّا<sup>(1)</sup> (أي الفوضى) في حالة ازدياد دائم. وهذا هو السبب في أن الصدأ والتعفن والذبول.. إلخ تعد سمات عامة للحياة. والقانون الثاني لا مفر منه. فكل شيء، سواء كان أزهاراً في بستان أو كان أجسادنا نحن بل وحتى الكون نفسه، محكوم عليه بالتحلل والفناء.

(1) الإنتروبيّا: مصطلح يعبر عن دالة لمغيرات ديناميكية حرارية كدرجة الحرارة والضغط، وهو مقياس للطاقة غير المتاحة للشغل في العملية الديناميكية الحرارية. (المترجم)

غير أن هناك ثغرة، وإن كانت صغيرة إلا أنها مهمة في القانون الثاني الذي ينص على أن مجموع الإنتروبيا في حالة ازدياد دائم. فهذا معناه أنه في استطاعتك بالفعل الإقلال من الفوضى في مكان معين وأن تجعل الشيخوخة تسير في الاتجاه المعاكس، طالما أنك تريد من الإنتروبيا في موضع آخر. إذن من الممكن أن تصير أكثر شبابا، على حساب ضربة معول توجهها إلى موضع آخر. (ألمحت إلى هذا رواية أوسكار وايلد الشهيرة (صورة دوريان جراي)، فالسيد جراي كان يتمتع بشباب دائم لسبب غامض. لكن سره تمثل في أنه رسم نفسه وقد طعن في السن إلى حد رهيب. وبهذا ما زال إجمالي مقدار شيخوخته في ازدياد). ويمكن كذلك فهم قاعدة الإنتروبيا عن طريق النظر إلى ما وراء الثلاثية. فداخل الثلاثية، تقل الإنتروبيا مع انخفاض درجة الحرارة. لكن لكي تقلل من حجم الإنتروبيا، لديك محرك، يزيد من الحرارة المتولدة خلف الثلاثية، فيزيد من مقدار الإنتروبيا خارج الماكينة. وهذا هو السبب الذي يجعل الثلاثيات ساخنة دائما من الخلف.

ومثلما قال ريتشارد فاينمان Richard Feynman، الحائز على جائزة نوبل، ذات يوم: (لا يوجد في علم الأحياء حتى الآن ما يشير إلى حتمية الموت. وهذا يوحي لي بأنه ليس حتميا على إطلاقه وأنها فقط مسألة وقت إلى أن يكتشف علماء الأحياء ما يسبب لنا المتاعب والعلاج لذلك المرض الكوني الفظيع أو ما يسبب وقتية الجسم البشري).

ويمكن أيضا النظر إلى نشاط هرمون الجنس الأنثوي (الإستروجين)، الذي يحافظ على شباب النساء وحيويتهم إلى أن يصلن إلى سن اليأس،

وعندها تتسارع عجلة الشيخوخة وترتفع معدلات الوفاة بينهن. إن الإستروجين يشبه عملية ضخ وقود عالي الأوكتان في سيارة رياضية. فتؤدي السيارة أداءً رفيع المستوى لكن ذلك على حساب مزيد من التحميل على المحرك وإنهاكه. وفي حالة النساء، قد يظهر أثر هذا التحميل والإنهاك للخلايا على صورة سرطان الثدي. وحقيقة الأمر أن حقن الإستروجين من المعروف أنها تؤدي إلى الإسراع في نمو سرطان الثدي. إذن الثمن الذي تدفعه النساء مقابل الشباب والنشاط قبل الوصول إلى سن اليأس ربما كان يتمثل في ازدياد مجموع الإبتروبيا، وهي في هذه الحالة، مرض سرطان الثدي. (ظهرت أعداد هائلة من النظريات المطروحة لتفسير سبب الارتفاع الذي حدث مؤخراً في معدلات الإصابة بسرطان الثدي، والتي ما زالت محل جدل كبير. إحدى النظريات تقول إن من أسباب المرض ما يتعلق بإجمالي عدد الدورات الشهرية التي تأتي للمرأة. فعلى امتداد التاريخ القديم، كانت النساء بعد البلوغ في حالة حمل مستمر تقريباً إلى أن يصلن إلى سن اليأس، وبعدها مباشرةً يتوفين. وكان معنى هذا أنه لم تكن تأتيهن سوى دورات شهرية قليلة، ومستويات قليلة من الإستروجين، ومن ثم، من المحتمل أن معدل الإصابة بسرطان الثدي كان متدنياً لديهن. أما اليوم، فتصل الفتيات الصغيرات إلى سن البلوغ مبكراً عن ذي قبل، وتأتيهن دورات شهرية كثيرة، ويحملن فيما لا يزيد في المتوسط على 15، 1 طفلاً لكل امرأة، ويعشن فترة طويلة بعد بلوغ سن اليأس، ومن ثم أصبحن يتعرضن بدرجة أكبر كثيراً الهرمون الإستروجين، وربما أدى ذلك إلى ارتفاع احتمال إصابتهن بسرطان الثدي).

ومؤخراً، اكتشفت سلسلة من المفاتيح التي تلوح لنا من بعيد بحل لغز الجينات والشيخوخة. أولها، أن الباحثين أوضحوا أن من الممكن استيلاد أجيال من الحيوانات التي تعيش أعماراً أطول من المعتاد. وبصفة خاصة، يمكن استيلاد خلايا خميرة، وديدان نيماتودا، وذباب فاكهة في المختبر تعيش فترة أطول من المعتاد. وقد انبهر مجتمع العلم عندما أعلن مايكل روز Michael Rose العالم بجامعة كاليفورنيا بارفين أنه تمكن من إطالة أعمار ذباب الفاكهة بنسبة 70 في المئة من خلال التلقيح الانتقائي. وقد وجد أن (ذبابه الفائق) أو (ذباب ميثوسيلاه) يحوي كميات أعلى من المركب المضاد للأكسدة (سوبر أكسيد ديسميوتيز) (SOD)، الذي يمكنه إبطاء عملية التلف التي تحدث بسبب الشوارد الحرة. وفي عام 1991 قام توماس جونسون Thomas Johnson العالم بجامعة كولورادو ببولدر بعزل أحد الجينات، أسماه age - 1، والذي على ما يبدو مسؤول عن الشيخوخة لدى النيماتودا ويطيل أعمارها بنسبة 110 %. وذكر جونسون أنه (إذا وجد شيء مثل age - 1 لدى الإنسان، فقد نكون قادرين وقتئذ بالفعل على إنجاز عمل رائع).

لقد عزل العلماء حتى الآن عدداً من الجينات (def، age - 2، age - 1 - 2) التي تتحكم في عملية الشيخوخة وتنظمها لدى كائنات أدنى، لكن تلك الجينات لها جينات منازرة لدى البشر أيضاً. وحقيقة الأمر أن أحد العلماء علق على ذلك بأن تغيير طول عمر خلايا الخميرة كان أشبه بالضغط على مفتاح الإنارة. وعندما قام الإنسان بتنشيط جين معين، عاشت الخلايا عمراً أطول. وعندما أطفأ نشاطها عاشت الخلايا عمراً أقصر.

إن استيلاد خلايا خميرة ذات عمر أطول أمر بسيط بالمقارنة بمهمة إيجاد سلالات من البشر، وهي مهمة جد شاقة، لأن البشر يعيشون فترة أطول كثيراً حتى إن الاختبار هنا يكاد يكون مستحيلاً. غير أن عزل الجينات المسؤولة عن الشيخوخة من الممكن أن يُعجل في المستقبل، لا سيما عندما يملك كل منا جينومه الخاص به على اسطوانة مدججة. فحينذاك، سوف يمتلك العلماء قاعدة بيانات هائلة الحجم من بلايين الجينات التي يمكن تحليلها باستخدام الحاسبات الآلية. وسوف يتمكن العلماء من مسح ملايين الجينومات لفئتين من البشر، الصغار والكبار. وبعقد مقارنة بين المجموعتين، يمكن للمرء حينئذ التعرف على الموقع الذي تحدث فيه الشيخوخة على المستوى الجيني. وقد نتج بالفعل عن المسح المبدي لتلك الجينات عزل ما يقرب من ستين جينا يبدو أن الشيخوخة تتركز حولها. مثال لذلك، أن العلماء صاروا يعلمون أن طول العمر خاصية وراثية بعض الشيء. فمن يعيشون إلى أعمار ممتدة عادة ما يكون آبائهم أيضاً من المعمرين. إن الظاهرة ليست شديدة الوضوح، غير أنه من الممكن قياسها. والعلماء الذين يحللون التوائم المتطابقة الذين عزلوا عن بعضهم عند ولادتهم يمكنهم أيضاً مشاهدة ذلك عند المستوى الجيني. غير أن طول العمر المتوقع لا يتحدد بنسبة 100 % عن طريق الجينات. إن العلماء الذين درسوا هذه المسألة يؤمنون بأن أطوال أعمارنا المتوقعة لا تتحدد من خلال الجينات سوى بنسبة 35 %. إذن في المستقبل، عندما يمتلك كل منا جينومه الشخصي مقابل 100 دولار، قد يتمكن العلماء ساعتها من مسح جينومات ملايين البشر عن طريق الحاسب الآلي لعزل الجينات التي



تتحكم جزئيا في أطوال أعمارنا.

والأدهى من ذلك، أن تلك الدراسات التي تتم باستخدام الحاسب الآلي ربما تكون قادرة على التحديد الدقيق للموضع الذي تحدث فيه الشيخوخة في بادئ الأمر. ففي السيارة مثلاً، نحن نعلم أن الشيخوخة تحدث بصفة رئيسة في المحرك، حيث يتأكسد البنزين ويحترق. وبالمثل، يوضح التحليل الجيني أن الشيخوخة تتركز في (محرك) الخلية أي (الميتوكوندريا)، أو مصنع الطاقة داخل الخلية. وقد أتاح هذا للعلماء تضيق نطاق البحث عن (جينات العمر) والبحث عن سبل للتعجيل بإصلاح الجينات داخل الميتوكوندريا من أجل العودة إلى الشباب.

وبحلول عام 2050، قد يكون من الممكن إبطاء زحف الشيخوخة عن طريق أساليب علاجية متنوعة، ومن أمثلتها، الخلايا الجذعية، ومتجر الجسم البشري، والعلاج بالجينات لإصلاح جينات الشيخوخة. ويمكننا ساعتها أن نعيش حتى سن 150 سنة وأكثر. وبحلول عام 2100، قد يكون من الممكن أن نعكس اتجاه الشيخوخة ونعود إلى سن الشباب بتعجيل آليات إصلاح الخلايا وصيانتها حتى نعيش إلى أعمار تزيد على ذلك بكثير.

## الحد من السعرات الحرارية

ربما فسرت هذه النظرية أيضاً الحقيقة العجيبة، وهي أن الحد من السعرات الحرارية في طعامنا (بمعنى، خفض ما نتناوله من سعرات بنسبة 30 % أو أكثر) يطيل العمر بنسبة 30 %. وكل كائن حي خضع للدراسة حتى الآن،

بدءاً من خلايا الخميرة والعناكب والحشرات حتى الأرانب والكلاب والآن القردة، يعلن بوضوح عن هذه الظاهرة الغريبة. فالحيوانات التي قدمت لها تلك الأنظمة الغذائية مقيدة السعرات أصيبت بعدد أقل من الأورام، وأمراض قلب أقل، وانخفضت لديها نسبة الإصابة بالسكري، كما قلت لديها نسبة الإصابة بأمراض الشيخوخة. في حقيقة الأمر، أن الحد من السعرات يعد الآلية الوحيدة المعلومة حتى الآن التي تؤكد أنها تطيل العمر وجرى اختبارها مراراً وتكراراً، على معظم أنواع المملكة الحيوانية، وهي تنجح دائماً. وحتى عهد قريب، ما زال النوع الرئيس الذي يراوغ الباحثين في مجال الحد من السعرات هو الرئيسيات، التي ينتمي إليها الإنسان، لأنها تعيش عمراً ممتداً.

كان العلماء تواقين بوجه خاص نحو مشاهدة نتائج تجارب الحد من السعرات على قروود (رايزس). وأخيراً، في عام 2009، جاءت النتائج التي طال انتظارها. فأظهرت دراسة أجرتها جامعة ويسكونسن أنه بعد عشرين عاماً من الحد من السعرات، عانت القردة التي ألزمت بطعام محدود السعرات من أمراض أقل أياً كان نوعها: فالسكري كان أقل حدوثاً. وكذلك السرطان وأمراض القلب. وبصفة عامة، كانت تلك القروود تتمتع بصحة أفضل من أبناء عمومته التي تغذت على الطعام المعتاد.

هناك نظرية ربما فسرت ذلك: فالطبيعة تمنح الحيوانات (خيارين) اثنين يتعلقان بأسلوب استخدامها للطاقة. ففي زمن الوفرة، تستخدم الطاقة في التكاثُر. وأثناء المجاعات، يتوقف الجسم عن نشاط التكاثُر، ليحتفظ بطاقته، محاولاً اجتياز فترة المجاعة. وفي المملكة الحيوانية، تعد حالة شبه

المجاعة أمراً شائعاً. ومن ثم كثيراً ما تلجأ الحيوانات (لخيار) إيقاف نشاط التناسل، فتبطئ من معدل التمثيل الغذائي، وتعيش فترة أطول على أمل أن تأتي أيام أفضل مستقبلاً.

وتتمثل ذروة أبحاث الشيخوخة نوعاً ما في الحفاظ على فوائد الحد من السعرات دون التعرض للجانب المغيّب منها (أي التضور جوعاً). ومن الواضح أن الإنسان يميل بشكل طبيعي نحو زيادة الوزن، لا خسارته. وفي الحقيقة أن الحياة على نظام غذائي محدود السعرات أمر غير مبهِج على الإطلاق، فأنت تتغذى على طعام يجعل حتى الناسك يتقيأ. كذلك فإن الحيوانات التي تتغذى على طعام قاسٍ محدود السعرات تصير كسولة وخاملة وبطيئة الحركة وتفقد كل اهتمام لها بالجنس. وما يحفز العلماء في ذلك سعيهم نحو معرفة الجين المتحكم في هذه الآلية، التي يمكننا بواسطتها جني المنافع التي سيحققها الحد من السعرات دون أن نعاني من عيوبه.

وقد تم العثور على مفتاح مهم لحل هذا اللغز عام 1991 على يد الباحث ليونارد بي جوارينتي Leonard P. Guarente وآخرين، بمعهد ماساشوستس للتكنولوجيا، الذين كانوا يبحثون عن جين يمكنه إطالة أعمار خلايا الخميرة. واكتشف جوارينتي، وديفيد سينكلير من جامعة هارفارد، وزملاؤهما الجين SIR2، الذي يشارك في تحقيق آثار الحد من السعرات. إن هذا الجين مسؤول عن تحديد الاحتياطيات الموجودة بالخلية من الطاقة. فعندما تنخفض احتياطيات الطاقة، مثلما يحدث أثناء المجاعات، ينشط هذا الجين. وهذا بالضبط ما يمكنك أن تنتظره من جين يتحكم في آثار الحد من السعرات. واكتشفوا أيضاً أن جين SIR2 له جين مناظر لدى

الفئران ولدى البشر، اسمه مجموعة جينات SIRT، التي تنتج بروتينات تسمى (سيرتوينات). وبعدها بحثوا عن كيميائيات تنشط السيرتوينات، فاكتشفوا المركب الكيميائي (ريزفيراترول).

وكان هذا أمراً مدهشاً، لأن العلماء يعتقدون أيضاً أن الريزفيراترول ربما كان مسؤولاً عن فوائد النبيذ الأحمر وربما كان ذلك يفسر (الأحجية الفرنسية). إن المطبخ الفرنسي مشهور بأصنافه الدسمة من الصوص التي ترتفع فيها نسبة الدهون والزيوت، غير أن أعمار الفرنسيين تبدو طبيعية. وربما كان تفسير هذا اللغز أن الفرنسيين يستهلكون أيضاً كميات كبيرة من النبيذ الأحمر الذي يحتوي على الريزفيراترول.

ثم اكتشف العلماء أن منشطات السيرتوين يمكنها أن تحمي الفئران من مجموعة متنوعة مبهرة من الأمراض، من بينها سرطان الرئة والقولون والميلانوما والليمفوما والنوع الثاني من السكري، وأمراض القلب، ومرض ألزهايمر، حسبما قال سينكلير. فحتى إذا أمكن علاج ولو نسبة ما من تلك الأمراض لدى البشر باستخدام السيرتوينات، لأحدث ذلك ثورة في سائر أرجاء مهنة الطب.

ومؤخراً، طرحت نظرية تفسر كل الخصائص المثيرة للإعجاب التي يحظى بها الريزفيراترول. فطبقاً لما ذكره سينكلير، فإن الهدف الرئيس للسيرتوين هو منع جينات معينة من أن تنشط. مثلاً، كروموسومات خلية واحدة، إذا فردت بكامل طولها، لبلغ ذلك الطول ست أقدام (مترين تقريباً) لتصنع جزيئاً ذا طول فلكي. وفي أي وقت، لا توجد ضرورة سوى لجزء فقط من الجينات المتواجدة على امتداد هذه الأقدام الستة من

الكروموسومات، أما كل الباقي فيجب أن يظلوا خاملين. وتتقيا الخلية معظم الجينات عندما لا تكون في حاجة إليها بأن تلف الكروموسوم لفا محكما وتغلفه بالكروماتين، والذي يعمل السيتوين على صيانتته.

إلا أنه في بعض الأحيان تحدث تشوهات كارثية لتلك الكروموسومات الرقيقة، مثل حدوث انكسار تام لواحدة من خيوطه. وهنا يبدأ السيتوين العمل من فوره، فيساعد في إصلاح الكروموسوم المنكسر. لكن عندما يترك السيتوين مواقعه مؤقتا ويذهب لتقديم النجدة، يضطر للتخلي عن وظيفته الأساسية، ألا وهي إسكات الجينات. ومن ثم تنشط الجينات، فتسبب في فوضى جينية. وهذا الانهيار حسبما يرى سينكلير، واحد من الآليات الرئيسة التي تسبب في الشيخوخة.

إن صح ذلك، فإن السيتوين إذن ليس قادرا فقط على إيقاف زحف الشيخوخة وإنما على جعلها تراجع للخلف. إن التلف الذي يصيب دي إن آيه الخلايا يصعب إصلاحه وإعادة الأمور إلى سابق عهدها. لكن سينكلير يؤمن بأن كثيرا من شيخوختنا سببها السيتوينات التي تحولت عن مهمتها الأساسية فسمحت للخلايا بالتحلل. وحسب زعمه فإن تحول هذه السيتوينات عن مسارها يمكن عكس اتجاهه بسهولة.

## ينبوع الشباب

غير أن واحدا من النواتج الثانوية لهذا الاكتشاف، والتي لم يكن مرغوبا فيها، ذلك الصخب الإعلامي الذي أشعله. فعلى حين غرة، أذاع برنامجا 60 دقيقة و(أوبرا وينفري شو) نبأ اكتشاف الريزفيراترول، ليصنعا بذلك

هجومًا محمولًا على شبكة الإنترنت، فظهرت شركات توصيل الطلبات للمنازل فجأة بين عشية وضحاها، لتعد الناس بإكسیر الحياة. وبدأ كما لو كان كل مندوب مبيعات زيت الحية وكل نصاب راغبًا في اللحاق بعربة قطار الريزفيراترول.

(سنحت لي الفرصة لاستضافة حواريتي في أحد اللقاءات، وهو الرجل الذي افتتح هذا الصخب الإعلامي المحموم، وكان ذلك في معمله. كان الرجل حذرًا في تصريحاته، مدركًا حجم التأثير الإعلامي الذي صنعتته النتائج التي توصل إليها وسوء الفهم الذي قد ينشأ عنها. وكان ما أسخطه تحديدًا أن الكثير والكثير من مواقع الإنترنت صارت الآن تعلن عن الريزفيراترول باعتباره نوعًا من أنواع ينابيع الشباب. وقد أفرعه، على حد تعبيره، أن الناس بدأت تسعى لجني المال اعتمادًا على الصيت المفاجئ الذي حصل عليه الريزفيراترول، رغم أن معظم النتائج كانت ما تزال في طور التجريب. غير أنه لم يكن يستبعد احتمال أن يلعب جين SIR2 دورًا في حال اكتشاف ينوع الشباب ذات يوم، بافتراض وجوده حقًا. ويقر زميله سينكلير في الحقيقة أنه يتناول كميات كبيرة من الريزفيراترول كل يوم).

إن الاهتمام بأبحاث الشيخوخة بلغ من شدته داخل مجتمع العلم حد قيام كلية طب هارفارد برعاية مؤتمر عام 2009 الذي جذب إليه بعضًا من كبار الباحثين في هذا الميدان. وكان من بين الحاضرين العديد ممن خضعوا بشكل شخصي للحد من السرعات. وكان هؤلاء، والذين بدا مظهرهم نحيلًا وهنا، يختبرون فلسفتهم العلمية بالالتزام بقيود غذائية. وكانوا أيضًا

أعضاء في نادي 120، وهم من عزموا على العيش حتى سن المئة والعشرين عاما. وانصب الاهتمام بصفة خاصة على شركة (سير ترينس للدوائيات) التي اشترك في تأسيسها ديفيد سينكلير وكريستوف ويستفال، وهي شركة تخضع حاليا بعضا من بدائل الريزفيراترول للتجارب الإكلينيكية. وقد قال ويستفال بصورة قاطعة: (خلال خمس أو ست أو سبع سنوات، سوف تكون هناك عقاقير تطيل العمر).

إن المواد الكيميائية التي لم يكن لها حتى أي وجود منذ بضع سنوات صارت موضع اهتمام بالغ وهي تخضع للتجارب. إن SRT501 يجري اختبار كعلاج للميلوما (الورم النخاعي) المتعددة وسرطان القولون. أما جين SRT2104 فيختبر كعلاج للنوع الثاني من السكري. ولا يقتصر الأمر على السيرتوين وحده وإنما صارت مجموعة متنوعة من الجينات والبروتينات والكيمائيات الأخرى (من بينها IGF - 1، و TOR، وراياميسين) خاضعة للتحليل المتأني من قبل مجموعات علمية متنوعة.

الزمن وحده كفيل بأن يخبرنا إن كانت تلك التجارب الإكلينيكية ستحقق النجاح أم لا. إن تاريخ الطب مليء بحكايات عن الخداع والاحتيال والدجل فيما يتعلق بعلاج الشيخوخة. غير أن العلم لا الخرافة مبني على بيانات قابلة للتكرار والاختبار والتحقق من صحتها. ومع إعداد المعهد القومي للشيخوخة لبرامج تهدف لاختبار المركبات المختلفة من حيث تأثيرها على الشيخوخة، إذن سوف نرى إن كانت تلك الدراسات المحيرة والمثيرة للجدل التي تتم على الحيوانات سوف تجري على البشر أيضا أم لا.

## هل الموت محتّم علينا؟

ذات يوم قال لي وليم هازلتاين William Haseltine أحد رواد البيوتكنولوجيا: (إن طبيعة الحياة ليست في الموت، وإنما هي أقرب للخلود. فجزء دي إن أيه جزيء خالد أبدي. لقد ظهر هذا الجزيء لأول مرة ربما منذ 3.5 بليون عام مضت. وهذا الجزيء ذاته، من خلال التكاثر والنسخ والتكرار، هو الموجود اليوم... صحيح أننا نصاب بالارهاق، لكننا نتحدث عن التوصل في المستقبل إلى طرق نستطيع بها تعديل هذا الأمر. أولاً بإطالة أعمارنا إلى ضعفي طولها الحالي وربما ثلاثة أضعاف. وربما، إذا فهمنا المخ بقدر كاف، نتمكن من إطالة أعمار كل من أجسامنا وعقولنا إلى ما لا نهاية. ولا أظن أن هذا سيتم من خلال عملية منافية للطبيعة).

ويشير علماء بيولوجيا التطور إلى أن الضغط التطوري وقع على الحيوانات خلال سنوات أعمارها الإنجابية. وبعد أن يجتاز حيوان ما سنوات عمره الإنجابي، قد يصير في واقع الأمر عبئاً على الجماعة ومن ثم ربما كان التطور مبرمجاً بحيث يتوفى الحيوان في سن الشيخوخة. لهذا ربما كنا مبرمجين بحيث نموت. غير أنه قد يمكننا إعادة برمجة أنفسنا على الحياة إلى أعمار أطول من ذلك.

حقيقة، إذا نظرنا إلى الثدييات مثلاً لوجدنا أنه كلما كبر حجم الحيوان الثديي، قل معدل التمثيل الغذائي لديه، وصار عمره أطول. فالفئران على سبيل المثال تحرق كميات هائلة من الطعام إذا قورنت بأوزان أجسامها، ولا تعيش إلا أربع سنوات تقريباً. أما الأفيال فإن معدل تمثيلها الغذائي



أبطأ بكثير وتعيش حتى سن السبعين. فإذا كان التمثيل الغذائي يعني في المقابل تراكم الأخطاء، فلعل هذا إذن يتفق مع مفهوم أنك تعيش عمرا أطول إذا كان معدل تمثيلك الغذائي أبطأ. (وربما فسر ذلك تعبيرا (احتراق الشمعة من طرفيها). لقد قرأت يوما قصة قصيرة تحكي عن جنّي عرض على رجل تحقيق أي أمنية يطلبها منه. فسارع الرجل يطلب الحياة حتى يصير عمره ألف عام. فلبى له الجنّي أمنيته وحوله إلى شجرة).

ويسعى علماء بيولوجيا التطور نحو تفسير طول العمر من زاوية كيف يمكن لطول العمر أن يفيد نوعا ما من الحيوانات يعيش في البرية. وبالنسبة لهم، يتحدد طول عمر حيوان ما وراثيا لأن هذا العمر بالتحديد يفيد هذا النوع على البقاء والازدهار. فالفترة تعيش عمرا قصيرا للغاية، بحسب رأيهم لأنها تتعرض باستمرار للاضطهاد من العديد من الكائنات المفترسة المتنوعة وكثيرا ما تتعرض للتجمد حتى الموت في فصل الشتاء. والفترة التي تنقل جيناتها إلى الجيل التالي هي تلك التي خلفت وراءها أكبر عدد من الذرية، وليست من عاشت عمرا أطول. (لو كانت هذه النظرية صحيحة، إذن لا بد أن نتوقع أن الفئران التي يمكنها إلى حد ما الهروب بعيدا عن أعدائها التي تريد افتراسها هي التي تعيش عمرا أطول. والواقع أن الخفافيش، والتي لها نفس أحجام الجرذان، تعيش أعمارا أطول تقدر بـ 35، ضعف عمرها). غير أن هناك تشوها في هذه النظرية مصدره هذه المرة الزواحف. من الواضح، أن هناك زواحف معينة ليس لها طول عمر معلوم. فربما عاشت حتى للأبد. التماسيح الأمريكية والعادية تزداد حجما أكثر وأكثر بكل بساطة، لكنها تظل محتفظة بنفس شراستها ونشاطها على الدوام. (كثيرا ما

تزعم المراجع العلمية أن التماسيح الأمريكية لا تتجاوز أعمارها السبعين عاما. لكن ربما كان هذا مرده إلى أن حارس الحديقة توفي في سن السبعين. وهناك مراجع أكثر أمانة ذكرت ببساطة أن أعمار هذه المخلوقات تزيد على السبعين لكنها لم يسبق أن قيسَت أبدا بعناية في ظروف معملية). وفي الواقع، أن هذه الحيوانات ليست مخلدة، لأنها تموت بسبب الحوادث والجوع والمرض... إلخ. لكنها إذا تركت في حديقة حيوان، فإنها تعمر طويلاً جداً، حتى تبدو وكأنها تكاد تعيش أبدا.

## الساعة البيولوجية

هناك دليل آخر محير يأتينا من (تيلوميرات) الخلية، وهي عضيات خلوية تؤدي وظيفة أشبه (بالساعة البيولوجية). التيلوميرات، التي تشبه القطع البلاستيكية المثبتة في أطراف أربطة الأحذية، توجد أيضا في نهايات كل كروموسوم. وبعد كل دورة تكاثر، تصير أقصر فأقصر. وفي نهاية المطاف، وبعد ستين عملية تكاثر أو نحوها (هذا بالنسبة لخلايا الجلد)، تتحلل التيلوميرات. وتدخل الخلية بعد ذلك في طور الشيخوخة وتكف عن أداء وظائفها بطريقة سليمة. إذن التيلوميرات تشبه الفتيل المتصل بإصبع الديناميت. فإذا قصر طول الفتيل بعد كل دورة تكاثر، فإنه يتلاشى في النهاية ومن ثم تتوقف الخلية عن التكاثر.

ويطلق على هذا حد (هايفليك) Hayflick، وهو فيما يبدو الحد الأقصى لدورات حياة خلية معينة. وخلايا السرطان على سبيل المثال، ليس لها حد (هايفليك)، وهي تنتج إنزيما يسمى (تيلوميريز) يمنع التيلوميرات من أن تصير أقصر وأقصر.

من الممكن تصنيع إنزيم تيلوميريز. وعند وضعه على خلايا الجلد، تتكاثر هذه الخلايا فيما يبدو دون حد. فتصير خالدة. لكن يوجد خطر هنا، فخلايا السرطان أيضا خالدة لا تموت، وتنقسم دون حدود داخل الورم. في الحقيقة أن هذا هو السبب في أن خلايا السرطان شديدة الفتك، إذ إنها تتكاثر بلا حدود، إلى أن يصير الجسم غير قادر على أداء وظائفه مرة أخرى. ولهذا يجب تحليل إنزيم التيلوميريز بعناية. فأي علاج يستخدم التيلوميريز في إرجاع الساعة البيولوجية إلى الوراء يجب فحصه للتأكد من أنه لن يتسبب في الإصابة بالسرطان.

## خلود زائد شباب

يعد الأمل في إطالة عمر الإنسان مصدر بهجة للبعض وكابوسا مفرعا للبعض الآخر، إذ إننا نعيش في الوقت الحالي انفجارا سكانيا ومجتمعيا من المسنين العجزة كفيلاً بإصابة البلاد بالإفلاس. الحقيقة أن الجمع بين العلاج البيولوجي والميكانيكي والنانوتكنولوجي ربما لا يكفي بإطالة أعمارنا وحسب وإنما سيحافظ على شبابنا في غضون ذلك. وقد قال روبرت أيه فرايتاس جونيور Robert A. Freitas، الذي يطبق النانو تكنولوجيا في الطب: (قد تصير هذه التدخلات أمرا شائعا بعد بضعة عقود من الآن. فبالاستعانة بعمليات الفحص الدوري السنوية والفرز والاستبعاد، مع إجراء عمليات إصلاح كبرى أحيانا، يمكن استعادة عمرك البيولوجي مرة كل عام ليعود إلى ما يقرب من العمر الفسيولوجي الثابت الذي تختاره. وما زال احتمال وفاتك في نهاية الأمر بسبب

الحوادث وما شابه واردا، لكنك ستعيش عمرا لا يقل عن عشرة أضعاف عمرك المفترض لك على الوضع الحالي).

وفي المستقبل، لن تصبح إطالة العمر مسألة احتساء جرعة من ينبوع الشباب الأسطوري. لكن الأرجح، أنها سوف تتحول إلى مزيج يجمع بين عدة وسائل:

1. استزراع أعضاء جديدة كلما بليت القديمة أو أصابها مرض ما، من خلال هندسة الأنسجة والخلايا الجذعية.

2. تناول كوكتيل من البروتينات والإنزيمات المصممة من أجل الارتقاء بآليات إصلاح الخلايا وصيانتها، وتنظيم التمثيل الغذائي، وإعادة ضبط الساعة البيولوجية، وتقليل حجم الأكسدة.

3. الاستعانة بالعلاج الجيني في تعديل الجينات التي ربما كانت مسؤولة عن إبطاء معدل زحف الشيخوخة.

4. المحافظة على أسلوب حياة صحي (ممارسة الرياضة واتباع التغذية السليمة).

5. استعمال مستشعرات نانو في اكتشاف أمراض كالسرطان قبل أن تستفحل بعدة سنوات.

## التعداد السكاني والطعام والتلوث

غير أن هناك سؤالا ملحا وهو: إذا زاد متوسط العمر المتوقع، ألن نعاني عندئذ من زيادة مفرطة في تعداد السكان؟ لا أحد يعلم.

إن تأجيل عملية الشيخوخة يجلب معه ضمنا عدة اعتبارات اجتماعية.

إذا عشنا أعماراً أطول، ألن تزدحم بنا الأرض؟ غير أن البعض يشير إلى أن حجم إطالة العمر قد حدث بالفعل، إذ زاد طول العمر المتوقع من خمسة وأربعين إلى سبعين إلى ثمانين خلال قرن واحد فقط من الزمان. وبدلاً من أن يصنع هذا الأمر انفجاراً سكانياً، يزعم البعض أنه صنع العكس. فمع ارتفاع أعمار الناس، زاد اهتمامهم بأعمالهم ووظائفهم فأخروا الإنجاب. وفي الحقيقة، أن تعداد الأوروبيين من أهل البلاد الأصليين يتناقص فعلاً بشكل كبير. إذن لو عاش الناس أعماراً أطول وصاروا أكثر ثراءً، لباعدوا بين مرات الإنجاب فأنجبوا أعداداً أقل من الأبناء. ومع زيادة الأعمار عدة عقود أخرى، سوف يعيد الناس ضبط أطرهم الزمنية بالتالي، ومن ثم يبعدون بين مرات الإنجاب أو يؤجلونه.

ويزعم آخرون أن الناس سوف يرفضون هذه التقنية لأنها غير طبيعية وقد تمثل مخالفة لمعتقداتهم الدينية. الحق أن استطلاعات رأي غير رسمية لعموم الناس بينت أن معظم الناس يعتقدون أن الموت أمر طبيعي تماماً ويساعد على أن يجعل للحياة معنى. (غير أن معظم الناس الذين أجريت معهم حوارات في هذه الاستطلاعات من الشباب وحتى مرحلة منتصف العمر. أما إذا ذهبنا إلى دار رعاية كبار السن، حيث تجد أناساً ينتظرون آخر أيامهم، ويعيشون في ألم مستمر، وقد أضنتهم الشيخوخة وسنين عمرهم وطرحنا عليهم نفس السؤال، فربما حصلت على إجابات مختلفة تماماً).

ومثلاً قال جريج ستوك Greg Stock من جامعة كاليفورنيا - لوس أنجلوس: (بالتدريج، سوف تفسح معاناتنا بشأن التلاعب في قدر الرب ومخاوفنا من إطالة أعمارنا الطريق لتظهر عبارة جديدة سردها ترديداً

جماعيا: متى سأتمكن من ابتلاع تلك الحبة؟).

في عام 2002، ومع أفضل بيانات ديموغرافية تم الحصول عليها، أشارت تقديرات العلماء إلى أن من يعيشون على ظهر الأرض اليوم يمثلون 6 في المائة من كل البشر الذين عاشوا عليها منذ زمن آدم حتى الآن. وهذا لأن تعداد البشر كان دائما ما يتأرجح حول المليون نسمة في معظم فترات التاريخ الإنساني. إن التنصارع على الموارد الغذائية حافظ على انخفاض تعداد البشر. فحتى خلال ذروة مجد الإمبراطورية الرومانية قدر تعدادها بحوالي 55 مليون نسمة فقط.

غير أنه خلال الثلاثمائة عام الأخيرة، حدث ارتفاع هائل في تعداد سكان العالم متزامنا مع نهضة في الطب الحديث ومواكبا للثورة الصناعية، التي أحدثت وفرة في الطعام والمؤن. وخلال القرن العشرين، ارتفعت أعداد سكان العالم إلى قمم شاحخة لم تبلغها من قبل، فتضاعف عدد سكان العالم خلال الفترة من 1950 إلى 1992: من 2،5 إلى 5،5 بليون نسمة. وهو الآن يقف عند رقم 6،7 بليون نسمة. وكل عام ينضم 79 مليون فرد جديد إلى الأسرة الإنسانية، وهو رقم يفوق تعداد سكان فرنسا.

ونتيجة لذلك، ظهرت العديد من النبوءات باقتراب الساعة، غير أنه حتى الآن تمكنت الإنسانية من الإفلات من تلك الرصاصة. وإذا عدنا بالزمن إلى عام 1798، لوجدنا توماس مالثوس<sup>(1)</sup> Thomas Malthus يحذرنا مما

(1) توماس مالثوس Thomas Malthus: (1766 – 1834) باحث إنجليزي في الاقتصاد السياسي والديموغرافيا عمل على نشر النظرية الاقتصادية في الإيجار. (المترجم)

يمكن أن يحدث عندما يتجاوز تعداد السكان حجم مواردنا الغذائية. المجاعات والشغب والتصارع على الطعام وانهيار الحكومات والمجاعات الجماعية يمكن أن تستتبع ذلك لحين إيجاد توازن جديد بين عدد السكان والموارد. ولما كانت الموارد الغذائية لا تتزايد إلا بمعدل زمني منتظم، في حين أن الزيادة السكانية تتضاعف بمعدلات فلكية، فإنه يبدو من المحتم أنه عند نقطة زمنية معينة سوف يصل العالم إلى نقطة الانهيار. وقد تنبأ مalthus وقتها بحدوث مجاعات جماعية بحلول منتصف القرن التاسع عشر.

غير أنه خلال القرن التاسع عشر، لم يصل تعداد البشر سوى للمراحل الأولى من التوسع الهائل، وبسبب اكتشاف العالم الجديد، وتأسيس المستعمرات، والزيادة في حجم الموارد الغذائية لم تقع الكوارث التي تنبأ بها مalthus.

وفي الستينيات من القرن العشرين، ظهر تنبؤ آخر مalthوسي الطابع، يقول إن القنبلة السكانية على وشك الانفجار على سطح الأرض، مع انهيار عالمي بحلول عام 2000، وكان التنبؤ مخطئاً. فقد عملت الثورة الخضراء بنجاح على التوسع في إنتاج الغذاء وتوفير موارده. وتوضح البيانات أن الزيادة في الإمدادات الغذائية فاقت النمو الذي وقع لتعداد السكان، ومن ثم هزمت مؤقتاً منطق مalthus. ومن عام 1950 إلى عام 1984، زاد حجم الإنتاج العالمي من الحبوب بنسبة زادت على 250 %، وكان السبب الرئيس وراء ذلك استخدام أسمدة حديثة واتباع تقنيات زراعية حديثة.

ومن جديد تمكنا من الإفلات من الرصاصية. لكن ارتفاع تعداد السكان

الآن بلغ أقصى مداه، ويقول البعض إننا نقرب من الوصول للحد الأقصى لقدرة كوكب الأرض على إمدادنا بالطعام.

والأمر المنذر بالشتر، أن الإنتاج الغذائي بدأ يتوقف عند حجم شبه ثابت، سواء على مستوى إنتاج العالم من الحبوب أو الطعام الذي نجمعه من البحار والمحيطات. وقد حذر كبير علماء الحكومة البريطانية من عاصفة هوجاء من الانفجار السكاني وانخفاض مواردنا من الطعام والطاقة بحلول عام 2030. فينبغي على العالم أن ينتج غذاءً أكثر بنسبة 70 % بحلول عام 2050 من أجل إطعام 2,3 بليون نسمة إضافية، حسبما أوردت منظمة الأغذية والزراعة (الفاو) التابعة للأمم المتحدة، وإلا حلت بنا كارثة.

ربما بخست تلك التنبؤات القدر الفعلي للمشكلة. فمع انضمام مئات الملايين من الصين والهند إلى الطبقة المتوسطة، سوف يصير هؤلاء راغبين أكثر في الاستمتاع بنفس الرفاهية التي يشاهدونها في أفلام هوليوود - مثل امتلاك سيارتين، ومنازل فسيحة بالضواحي، وتناول الهامبرجر والبطاطس المحمرة، إلخ - وقد يضيف ذلك مزيداً من الأعباء على موارد العالم. في حقيقة الأمر، أن لستر براون<sup>(1)</sup> Lester Brown، وهو واحد من أبرز علماء البيئة في العالم ومؤسس معهد (وورلد ووتش) في واشنطن دي سي، أكد لي أن العالم ربما لا يتمكن من التعامل مع عبء تحقيق أسلوب حياة الطبقة المتوسطة للمئات والمئات من الملايين من البشر.

(1) لستر براون Lester Brown: محلل بيئي أمريكي ومؤسس ورئيس معهد سياسة الأرض، وهي منظمة بحثية لا تهدف للربح مقرها واشنطن دي سي. ألف وشارك في تأليف أكثر من خمسين كتاباً تتحدث عن القضايا البيئية العالمية. (المترجم)



## شيء من الأمل لسكان العالم

لكن مع ذلك ما زال هناك بصيص من الأمل. تحديد النسل، الذي كان ذات يوم موضوعا يحرم التحدث فيه، عمل على إيقاف نمو السكان في العالم المتقدم، وهو يشق طريقه في بلدان العالم النامي.

ففي أوروبا واليابان، نشاهد تراجعاً في أعداد السكان لا انفجاراً سكانياً. إن معدل المواليد بلغ عدداً متدنياً يتراوح بين 1،2 و1،4 طفل للأسرة الواحدة في بعض الدول الأوروبية، وهو معدل يقل كثيراً عن مستوى الإحلال البالغ 2،1 طفل. أما اليابان فتعرض لضربة ثلاثية الأبعاد. البعد الأول أن لديها أسرع تعداد سكاني في العالم اقتراباً من سن الشيخوخة. النساء اليابانيات على سبيل المثال يحتفظن بالرقم القياسي لأكثر من 20 عاماً لتمتعهن بأطول الأعمار المتوقعة مقارنةً بأي فئة أخرى. والثاني أن معدل المواليد في اليابان في حالة انخفاض. أما الثالث فهو أن الحكومة تحافظ على الانخفاض الشديد لمعدلات الهجرة. هذه القوى الديموغرافية الثلاثة تصنع الكارثة لكن بالحركة البطيئة. وأوروبا تأتي وراءها غير بعيدة.

أحد الدروس المستفادة هنا أن أكبر مانع للحمل في العالم هو الرخاء. ففي الماضي، كان الفلاحون بلا معاش أو تأمينات اجتماعية فكانوا يسعون لإنجاب أكبر عدد ممكن من الأطفال كي يعملوا في الحقول ويرعوهم عند الكبر، وفق معادلة بسيطة: كل طفل جديد في الأسرة معناه المزيد من الأيدي العاملة والمزيد من الدخل والمزيد من الناس الذين يخدمونك عند الكبر. لكن عندما يدخل أحد الفلاحين زمام الطبقة المتوسطة، متمتعاً

بكامل المزايا عند التقاعد وبأسلوب حياة مريح، تنقلب المعادلة رأساً على عقب: كل طفل جديد يقلص الدخل ومستوى المعيشة.

في العالم الثالث، لديك المشكلة المضادة. تعداد سكاني يرتفع سريعاً، حيث نجد معظم السكان دون سن العشرين. وحتى في المناطق التي يتوقع فيها أكبر انفجار سكاني، أي في آسيا وأفريقيا السوداء، انخفض معدل المواليد لعدة أسباب.

أولها، أن لديك الاتجاه السريع لمجتمع المزارعين نحو الأخذ بأسباب التحضر، الذي يواكب ترك الفلاحين لأرض أجدادهم ومحاولتهم تجربة حظوظهم في المدن الكبرى. في عام 1800، كان تعداد سكان المدن لا يزيد على 3% من إجمالي تعداد السكان. وبحلول نهاية القرن العشرين، ارتفع الرقم إلى 47%، ويتوقع له بلوغ ارتفاعات أعلى من ذلك خلال العقود المقبلة. إن نفقات تربية الطفل في المدينة تقلص بصورة هائلة من عدد أطفال الأسرة. فأسعار الإيجارات والطعام والنفقات باهظة، ويقوم العاملون الذين يقطنون عشوائيات المدن الكبرى بنفس الحسبة فيستخلصون أن كل طفل آخر يقلص من مستواهم المعيشي. وثانيها، أنه مع اتجاه الدول للتصنيع، كما هو الحال في الصين والهند، يؤدي ذلك إلى ظهور طبقة متوسطة ترغب في عدد أقل من الأطفال، مثلما هو الحال في الغرب المتقدم صناعياً. وثالثها، تعليم النساء، حتى في البلدان الفقيرة كبنجلاديش، خلق طبقة من النساء اللاتي يرغبن في إنجاب عدد أقل من الأطفال. وفي بنجلاديش وبسبب تنفيذ خطة تعليمية طموح، هبط معدل المواليد من 7 إلى 2,7، حتى دون الاتجاه الهائل نحو الحضر والتصنيع.

مع علمها بوجود كل تلك العوامل، عملت الأمم المتحدة باستمرار على مراجعة أرقامها الخاصة بالنمو المستقبلي في تعداد السكان. وما زالت التقديرات تتباين، غير أن سكان العالم ربما يصلون إلى رقم 9 بلايين نسمة بحلول عام 2040. ورغم أن تعداد السكان سوف يواصل ارتفاعه، فإن معدل النمو سوف يتباطأ في نهاية الأمر حتى يصل إلى معدل ثابت لا يتغير ونحن نرجو في تفاؤل أن يثبت عند حوالي 11 بليون نسمة بحلول عام 2100.

من الطبيعي أننا قد نحسب أن هذا الرقم يتجاوز سعة حمل الكوكب. لكن هذا يتوقف على تعريفنا لسعة حمليه، لأنه ربما تقع ثورة خضراء أخرى يتم الإعداد لها الآن خلف الكواليس.

من بين الحلول الممكنة لبعض من تلك المشكلات، البيوتكنولوجيا. ففي أوروبا، نالت الأطعمة المهندسة وراثيا سمعة سيئة قد تستمر معها لجيل كامل. وفي الوقت نفسه قامت صناعة البيوتكنولوجيا بتسويق مبيدات أعشاب للمزارعين وكذلك محاصيل مقاومة لمبيدات الأعشاب. وكان هذا معناه لصناعة البيوتكنولوجيا مزيدا من المبيعات، لكن كان معناه للمستهلك المزيد من السموم في طعامه، وسرعان ما انفجر السوق.

غير أنه مستقبلاً، قد تدخل أنواع من الحبوب مثل (الأرز السوبر) الأسواق، وهي محاصيل مهندسة تحديدا بحيث تزدهر زراعتها في البيئات الجافة والصعبة والقاحلة. وعلى المستوى الأخلاقي، سوف يكون من الصعب معارضة إدخال محاصيل آمنة في مقدورها سد جوع مئات الملايين من البشر.

## إعادة إحياء أشكال حياة انقرضت من الوجود

غير أن طائفة أخرى من العلماء ليست مهتمة فحسب بإطالة عمر الإنسان وتحدي الموت، وإنما تعنى أيضا بإعادة بعث مخلوقات إلى الحياة من الموات.

في فيلم حديقة الديناصورات Jurassic Park يستخلص العلماء حمض دي إن آيه من الديناصورات، ويزرعونه في بيض زواحف، ويعيدون الديناصورات مجددا إلى الحياة. وبرغم أنه لم يعثر إلى الآن على دي إن آيه قابل للاستخدام من الديناصورات، فإن هناك تلميحات مغرية بأن هذا الحلم ليس ببعيد المنال. إذ بحلول نهاية هذا القرن سوف تسكن حدائق حيواناتنا مخلوقات توقفت منذ آلاف السنين عن السير فوق سطح الأرض. كما ذكرنا من قبل، قام روبرت لانزا بأول خطوة كبرى في هذا الصدد بأن قام باستنساخ حيوان البانتنج، وهو فصيل مهدد بالانقراض، وهو يشعر أنه قد يكون من العار أن ينقرض هذا النوع النادر من الثيران. ولهذا فهو يدرس احتمالية أخرى: خلق حيوان مستنسخ جديد، لكن هذه المرة من الجنس الآخر. في الثدييات، يتحدد جنس الحيوان عن طريق الكروموسومين س و ص. وعن طريق التلاعب في تلك الكروموسومات كان واثقا من أن باستطاعته استنساخ حيوان آخر من هذه الجيفة، لكن هذه المرة ينتمي للجنس الآخر. وبهذه الطريقة، يمكن لجميع حدائق الحيوان في جميع أنحاء العالم الاستمتاع بمشاهدة حيوانات تنتمي لفصائل انقرضت منذ زمن بعيد، وهي تنجب أطفالاً.

جمعتني مائدة عشاء ذات يوم مع ريتشارد دو كينز Richard Dawkins

العالم بجامعة أكسفورد ومؤلف كتاب (الجين الأناني) The Selfish Gene الذي قطع خطوة إضافية في هذا المضمار. فهو يحلم بأن يأتي يوم نكون فيه قادرين على إعادة الحياة إلى أشكال متنوعة من الحياة ليست فقط مهددة بالانقراض وإنما انقرضت بالفعل منذ زمن بعيد. وهو يذكر في البداية أنه كل سبعة وعشرين شهرا، يتضاعف عدد الجينات التي تتم معرفة تسلسلها. ثم أجرى عملية حسابية توصل من خلالها إلى أنه في العقود المقبلة لن تزيد تكلفة تحديد التسلسل الكامل لجينوم أي فرد على 160 دولارا. وهو يحلم باليوم الذي سيحمل فيه علماء البيولوجيا معهم طاقم أدوات صغيرا ثم في خلال دقائق يكونون قادرين على معرفة التسلسل الكامل للجينوم الخاص بأي شكل يصادفونه من أشكال الحياة.

غير أنه يمضي لما هو أبعد من ذلك ويتصور نظريا أنه بحلول عام 2050، سوف نكون قادرين على إنشاء كائن كامل من الجينوم وحده. حيث كتب يقول: (أؤمن بأنه بحلول عام 2050 سوف تتمكن من قراءة لغة الحياة). وسوف نغذي أحد الحاسبات بجينوم حيوان مجهول فيعيد هذا الحاسب لا بناء شكل الحيوان وهيئته فحسب وإنما تفاصيل العالم الذي عاش فيه أسلافه كذلك، بما فيها أعداؤه الطبيعيون أو فرائسه، والطفيليات أو العوائل التي تعايش معها، وأماكن إقامة أعشاشه بل وحتى آماله ومخاوفه. ويؤمن دوكنز وهو يستشهد بعمل سيدني برينر، أنه باستطاعته إعادة بناء جينوم (الحلقة المفقودة) بين الإنسان والقردة.

سوف يكون هذا بحق نصرا علميا يشار إليه بالبنان. إذ بالحكم على الحفريات والأدلة المتوفرة من أحماض دي إن آيه، وجدنا أنه تفصلنا عن

القردة حوالي 6 ملايين عام.

ولما كان حمض دي إن آيه الخاص بنا يختلف عن ذاك الذي يحمله حيوان الشمبانزي بنسبة 1.5 في المئة فقط، فإنه في المستقبل لا بد أن أحد برامج الكمبيوتر سوف يكون قادرا على تحليل الـ دي إن آيه الخاص بنا والخاص بالشمبانزي ومن ثم يحسب بالتقريب، بالمعادلات الرياضية، الـ دي إن آيه الخاص بالجد المشترك لكلينا. وبمجرد إعادة بناء ذلك الجينوم الافتراضي لجدنا المشترك بالحسابات الرياضية، سوف يقدم لنا أحد برامج الكمبيوتر بعد ذلك إعادة بناء بصرية للشكل الذي كان عليه وكذلك مواصفاته. وقد أطلق على ذلك مشروع جينوم لوسي، ولوسي هو الاسم الذي أطلق على الحفريّة الشهيرة التي تنتمي لكائن القرد الجنوبي<sup>(1)</sup> *Australopithecus*.

بل وصل الأمر به إلى تصور نظري لأنه بمجرد إعادة خلق جينوم الحلقة المفقودة حسابيا عن طريق برنامج حاسب، فرما يصبح من الممكن فعليا خلق الـ دي إن آيه لهذا الكائن، ثم زرعه في بويضة بشرية، ومن ثم زرع البويضة في رحم امرأة، لتلد لنا في نهاية الأمر جدنا الأول. برغم أن هذا السيناريو ربما بدا مستبعدا باعتباره منافيا للعقل، فإنه منذ بضع سنوات فقط ليس إلا، حدثت عدة تطورات تشير إلى أنه ليس بذلك الحلم بعيد المنال.

(1) القرد الجنوبي *Australopithecus*: كائن إنسي منقرض منذ حوالي مليوني عام لعب دوراً مهماً في تاريخ التطور حسب رأي علماء الآثار والأنثروبولوجي والحفريات ويفترض أنه عاش في شرق أفريقيا. (الترجم)

أولها، أن حفنة من الجينات الرئيسة التي تفصلنا عن الشمبانزي يجري حالياً تحليلها بالتفصيل. ومن الجينات المثيرة المرشحة لإجراء ذلك التحليل جين ASPM، المسؤول عن التحكم في حجم المخ. لقد زاد حجم المخ البشري منذ عدة ملايين عام مضت، لأسباب غير مفهومة. فهذا الجين عند حدوث طفرة به، يتسبب في صغر حجم الدماغ، بحيث تكون الجمجمة صغيرة ويقل حجم المخ بنسبة 70 %، أي في نفس حجم مخ أسلافنا القدامى منذ ملايين السنين. والأمر العجيب أنه من الممكن استخدام الحاسبات الآلية في تحليل تاريخ ذلك الجين. وتبين التحليلات أنه قد حدث له 15 طفرة خلال الخمس إلى الست ملايين عام الماضية، منذ انفصالنا عن جنس الشمبانزي، وهو ما يتطابق زمنياً مع حدوث زيادة في حجم المخ. ومقارنةً مع أبناء عمومتنا من الرئيسيات، تعرض الإنسان لأسرع معدل تحول في ذلك الجين الرئيس.

بل إن الأكثر تشويقاً تلك المنطقة من الجينوم المسماة HAR1، التي لا تحوي سوى 118 حرفاً. في عام 2004، اكتُشف أن الفارق الجوهرى بين الشمبانزي والإنسان يقع في هذه المنطقة في 18 حرفاً منها فقط، أو بالأحرى 18 حمضاً نووياً. لقد تفرعت أجناس الشمبانزي والدجاج عن بعضها البعض منذ 300 مليون عام مضت، غير أن أزواجها القاعدية في منطقة HAR1 ليس بينها اختلاف سوى في حرفين اثنين فقط. ومعنى هذا أن منطقة HAR1 ظلت ثابتة بشكل ملحوظ طيلة التاريخ التطوري، إلى أن ظهر الإنسان إلى الوجود. لهذا ربما كانت الجينات التي جعلتنا بشراً موجودة هناك.

غير أنه يوجد تطور أكثر روعة من ذلك جعل اقتراح دوكنز يبدو ممكن التنفيذ. لقد صار جينوم أقرب جيراننا من الناحية الوراثية، إنسان نياندرثال الذي انقرض منذ زمن بعيد، معروفًا تسلسله حاليًا. وربما أمكن من خلال تحليل الحاسب الآلي لجينومات البشر والشمبانزي ونياندرثال وباستخدام الرياضة البحتة إعادة بناء جينوم الحلقة المفقودة.

## إعادة نياندرثال إلى الحياة

ربما تفرق السبيل بالإنسان وكائنات نياندرثال منذ حوالي ثلاثمئة ألف عام مضت. غير أن تلك المخلوقات انقرضت وفنيت منذ حوالي ثلاثين ألف عام في أوروبا. وكان ذلك قبل وقت طويل إذن من إمكانية استخلاص حمض دي إن آيه القابل للاستخدام من النياندرثال الذي اندثر منذ عهد بعيد.

غير أنه في عام 2009، أعلن أن فريقا يقوده (سفانتي بابو) Svante Paabo من معهد ماكس بلانك للأنثروبولوجي التطوري في لايبزج أنتج بالفعل أول نسخة مبدئية من جينوم نياندرثال الكامل، بعد تحليل دي إن آيه من ست كائنات نياندرثال. كان هذا إنجازًا تاريخيًا بحق. وكان جينوم نياندرثال كما كان متوقعًا مشابهًا للجينوم البشري، فكلاهما يحتوي على 3 بلايين زوج قاعدي، لكنهما مختلفان مع ذلك في نواح رئيسة.

وقال عالم الأنثروبولوجي باستانفورد (ريتشارد كلاين) Richard Klein، معلقًا على العمل الذي أنجزه (بابو) ورفاقه: إن إعادة البناء هذه ربما كانت تمثل إجابة عن أسئلة لطالما طرحناها عن سلوك نياندرثال، مثل



ما إذا كان باستطاعته التحدث أم لا. يوجد لدى الإنسان تغيران مميزان في الجين FOXP2، المسؤول جزئياً عن إتاحة نطق آلاف الكلمات. ويوضح تحليل أجري عن كذب أن لدى نياندرثال نفس التغيرين الوراثيين في هذا الجين. إذن يمكننا أن نفهم أن نياندرثال ربما كان قادراً على نطق ألفاظ بطريقة مشابهة لما نفعل.

لما كان نياندرثال هو أقرب قريب وراثي لنا نحن البشر، لذا سوف يخضع لاهتمام مكثف من العلماء. وقد طرح البعض إمكانية إعادة بناء دي إن آيه نياندرثال ذات يوم، ذلك الكائن الذي سار يوماً على سطح الأرض.

بل إنه وفق تقديرات (جورج تشيرش) George Church العالم بكلية طب هارفارد، فإن إعادة نياندرثال مرة أخرى إلى الوجود لن تتكلف أكثر من 30 مليون دولار، بل ووصل به الأمر حد تقديم خطة لذلك. إذ يمكن في البداية تقسيم الجينوم البشري الكامل إلى قطع، بحيث تحوي كل قطعة 100 ألف زوج من حمض دي إن آيه ويتم زرع كل قطعة في خلية بكتيرية ثم تعديلها جينياً بحيث يوافق هذا الجينوم جينوم نياندرثال. ثم يعاد بعد ذلك تجميع كل تلك القطع المعدلة من الـ (دي إن آيه) لتصنع دي إن آيه كاملاً للنياندرثال. ويمكن بعد ذلك إعادة برمجة هذه الخلية لإعادتها إلى حالتها الجنينية ومن ثم زرعها في رحم أنثى شيمبانزي.

غير أن كلاين من ستانفورد خرج ببعض المخاوف المفهومة عندما طرح سؤالاً قال فيه: (هل ستضعه بعد ذلك في هارفارد أم في حديقة حيوان؟). كل هذا الحديث عن إعادة بناء نوع آخر انقرض منذ زمن بعيد

كنياندرثال (ما من شك أنه سي طرح مخاوف أخلاقية) حسبما نبه دو كينز. هل سيكون للنياندرثال حقوق؟ ما الذي يحدث عندما يرغب أو ترغب في التزاوج؟ من المسؤول إذا أصيب أو أصيبت بأذى أو أذا شخصاً آخر؟ إذن إذا كان من الممكن إعادة نياندرثال إلى الوجود مرة أخرى، فهل يتمكن العلماء في نهاية الأمر من إنشاء حديقة حيوان للحيوانات التي انقرضت منذ زمن بعيد، كالماموث مثلاً؟

## هل يمكن إعادة الماموث إلى الحياة؟

إن الفكرة ليست بالقدر نفسه من الجنون الذي تبدو به. فالعلماء بالفعل تمكنوا من معرفة تسلسل قدر كبير من جينوم الحيوان المنقرض المعروف باسم (الماموث السيبيري). فيما مضى، لم يتم استخلاص سوى شظايا دقيقة من حمض دي إن آيه لحيوان الماموث الذي كان جسده يكتسي بالصوف ثم تجمد في سيبيريا منذ عشرات الآلاف من السنين. لقد صنع (وب ميللر) Webb Miller و(ستيفان سي. شوستر) Stephan C. Schuster، عالمان بجامعة ولاية بنسلفانيا، المستحيل: استخلص العالمان 3 بلايين قاعدة من الـ(دي إن آيه) من جيف متجمدة لحيوان الماموث. فيما مضى، كان الرقم القياسي الذي تحقق بمعرفة التسلسل الصحيح لحمض دي إن آيه للأنواع المنقرضة لا يزيد على 13 مليون زوج قاعدي، أي أقل من 1% من جينوم الحيوان. (أمكن تحقيق هذا الفتح العلمي باستخدام آلة جديدة لتحدي التسلسل الصحيح، اسمها (جهاز تحديد التسلسل عالي الطاقة الإنتاجية)، الذي يتيح لنا مسح الآلاف من الجينات دفعة واحدة،

بدلاً من مسحها واحداً واحداً). كما استخدمت حيلة أخرى أيضاً، وهي معرفة الموقع الذي علينا أن نبحث فيه عن الدي إن آيه العتيق. وقد توصل ميللر وشوستر إلى أن جريب الشعر للماموث الصوفي، وليس الجسم نفسه، هو الذي يحتوي على أفضل دي إن آيه.

والآن ربما أمكننا القول بأن فكرة إحياء حيوان منقرض من جديد ممكنة من الناحية البيولوجية. يقول شوستر: (منذ عام مضى، كان يمكنني القول بأن الفكرة محض خيال علمي). لكن الآن، ومع تمكننا من معرفة قدر كبير من تسلسل جينوم الماموث، لم يعد الأمر بعيد المنال. بل إنه رسم طريقة مبدئية لكيفية القيام بهذا. فوفق تقديراته ربما لم يعد متبقياً الآن سوى 400 ألف تغيير في دي إن آيه الفيل الآسيوي يمكنها صنع حيوان به جميع السمات الرئيسة للماموث الصوفي. وربما كان من الممكن من الناحية الجينية تعديل دي إن آيه الفيل بحيث يستوعب تلك التغيرات، ثم زرعه في نواة بويضة أنثى الفيل، ثم زرع البويضة بعد ذلك في رحم أنثى الفيل. ويتطلع الفريق بالفعل نحو معرفة تسلسل دي إن آيه لحيوان آخر منقرض، وهو الثايلاسين (كلب تسمانيا)، وهو حيوان أسترالي من فصيلة ذوات الجراب، على صلة قرابة لصيقة بشيطان تسمانيا الذي انقرض عام 1936. وهناك أيضاً بعض الحديث عن معرفة تسلسل دي إن آيه طائر الدودو. وهناك قول ماثور هو (ميت كالدودو)، لكنه قد يصبح غير ذي معنى إذا تمكن العلماء من استخلاص دي إن آيه قابل للاستخدام من الأنسجة الرخوة وعظام جيف طيور الدودو الموجودة في أكسفورد أو في أماكن أخرى.

## حديقة الديناصورات

وهذا يقودنا تلقائياً إلى سوء النما الأصلي: هل يمكننا إعادة الديناصورات إلى الوجود؟ الإجابة في كلمة، ربما لا. إن حديقة الديناصورات تعتمد على القدرة على استعادة دي إن آيه سليم لشكل من أشكال الحياة انقرض منذ أكثر من 65 مليون عام، وربما كان هذا أمراً مستحيلاً. فبرغم العثور على أنسجة رخوة داخل عظام فخذ حفريات الديناصورات، فإنه إلى الآن لم يتم استخلاص دي إن آيه بهذه الطريقة، فقط بروتينات. وبرغم أن تلك البروتينات أثبتت كيميائياً أن هناك علاقة قرابة وثيقة بين (الثيرانوصور ركس) والضفدع والدجاجة، فإن هذا الأمر يبدو بعيداً كل البعد عن القدرة على استعادة جينوم الديناصور من جديد.

إلا أن دو كينز مع ذلك لا يستبعد هذه الاحتمالية، أي القدرة على إجراء مقارنة وراثية بين جينوم أجناس الطيور المتنوعة والزواحف ومن ثم إعادة بناء التسلسل الصحيح لـ دي إن آيه (الديناصور العام) بطريقة حسابية. ويذكر دو كينز أنه من الممكن حث مناقير الدجاج على إنبات براعم أسنان (وحش الأفاعي على إنبات أرجل لها). ومن ثم، فإن السمات القديمة، التي تلاشت منذ زمن بعيد وطواها النسيان، ربما كانت مخبئة داخل طيات الجينوم.

وهذا لأن علماء الأحياء صاروا مدركين الآن أن الجينات قابلة لإعادة التنشيط ومن ثم يمكن أيضاً إخمادها. ومعنى هذا أنه ربما كانت الجينات الحاملة للصفات العتيقة ما زالت موجودة لكنها ببساطة في حالة سبات. وبتشغيل هذه الجينات التي طال سباتها، قد يكون من الممكن إعادة هذه

السمات إلى الحياة من جديد.

مثال لذلك، في الماضي السحيق، كانت أقدام الدجاج ذات غشاء جلدي بين الأصابع. ولم يختفِ الجين المسؤول عن هذه الأغشية وإنما توقف فقط عن أداء وظيفته. وعند إعادة تنشيط هذا الجين، يمكن من حيث المبدأ خلق دجاج له قدم ذات أغشية جلدية (كالبط). وبالمثل، كان جسم الإنسان يوما ما مكسوا بالفراء. لكننا فقدنا فراءنا عندما بدأنا نفرز عرقا، وهي طريقة شديدة الفعالية لتنظيم درجة حرارة الجسم. (لا تملك الكلاب غدا عرقية، ولهذا تبرد أجسامها عن طريق اللهاث). وما زال الجين المسؤول عن فراء الإنسان موجودا لكنه خامد. ومن هنا فإننا بإعادة تشغيل هذا الجين، قد نتمكن من جعل أجساد البشر مكسوة بالفراء. (زعم البعض أن هذا ربما كان هو المسؤول عن أسطورة الرجل الذئب).

إذا افترضنا أن بعض جينات الديناصورات كانت في حقيقة الأمر متوقفة عن النشاط لملايين السنين لكنها ما زالت على قيد الحياة وموجودة في جينوم الطيور، إذن لكان من الممكن إعادة تنشيط تلك الجينات التي طال رقادها وحث الطيور على إظهار صفات الديناصورات. لهذا فإن اقتراح دوكينز وإن كان ضربا من التنبؤ فإنه ليس مستبعدا.

## خلق أشكال جديدة من الحياة

ويطرح هذا علينا سؤالا ختاميا: هل يمكننا خلق حياة وفق أمانينا؟ هل من الممكن ألا نكتفي بخلق الحيوانات التي انقرضت منذ أمد بعيد وأن نخلق أيضا حيوانات لم يكن لها وجود على الإطلاق من قبل؟ مثال لذلك، هل

يمكننا صنع خنزير له جناحان أو حيوان ورد وصفه في الأساطير القديمة؟ حتى بحلول نهاية هذا القرن، لن يكون العلم قادراً على خلق حيوانات حسب الطلب. لكن العلم سوف يقطع شوطاً طويلاً في طريق التمكن من إدخال تعديلات على المملكة الحيوانية.

حتى الآن، كان العامل المقيد لنا هو قدرتنا على تحريك أماكن الجينات. ولا يمكن تعديل سوى جين واحد في كل مرة بطريقة موثوق في نتيجتها. على سبيل المثال، من الممكن العثور على جين يجعل حيوانات معينة تومض في الظلام. ويمكن عزل هذا الجين، ثم وضعه داخل حيوانات أخرى بحيث تومض في الظلام. والحقيقة أن هناك أبحاثاً تجري حالياً يمكن من خلالها تعديل الحيوانات الأليفة بإضافة جين واحد في كل تعديل.

غير أن خلق حيوان جديد تماماً، مثل الكمير، ذلك الحيوان الخرافي الذي ورد في الأساطير الإغريقية (وهو مخلوق يجمع بين صفات ثلاثة حيوانات مختلفة)، يتطلب نقل آلاف الجينات. ولخلق خنازير ذات أجنحة، عليك أن تنقل مئات الجينات التي تمثل الجناح والتأكد من أن جميع العضلات والأوعية الدموية متوافقة معاً بصورة صحيحة. وهذا أمر بعيد تماماً عن أي شيء يمكن إنجازه اليوم.

غير أن هناك فتوحات تمت في هذا الصدد من الممكن لها أن تسر هذه الاحتمالية مستقبلاً. لقد دهش علماء الأحياء عندما اكتشفوا أن الجينات التي تصف الهيكل العام للجسم (من الرأس حتى أصابع القدمين) موجودة على صورة مرآة تعكس ترتيبها الذي تظهر به في الكروموسومات. وتسمى هذه جينات HOX، وهي تصف الطريقة التي يتركب بها الجسد.

فعلى ما يبدو أن الطبيعة اتخذت طريقا مختصرا، حيث طابقت بين ترتيب أعضاء الجسم وترتيب الجينات الموجودة على الكروموسومات نفسها. وهذا بدوره، عجل بشكل كبير من سرعة العملية التي يمكن بواسطتها فك شفرة التاريخ التطوري لتلك الجينات.

أضف إلى ذلك، أن هناك جينات رئيسة تتحكم فيما يبدو في خواص جينات أخرى عديدة. فعن طريق التلاعب في حفنة من تلك الجينات الرئيسية، يمكنك التلاعب في خصائص عشرات الجينات الأخرى.

وإذا عدنا بالزمن إلى الوراء لوجدنا أن الطبيعة الأم قررت خلق الهيكل العام للجسم بالطريقة نفسها تقريبا التي يرسم بها المهندس المعماري رسوماته التخطيطية. إن الإطار العام الهندسي للرسم المعماري يكون بنفس ترتيب الإطار العام للمبنى المادي الفعلي. كذلك تكون الرسومات المعمارية مجزأة، بحيث يحتوي كل رسم رئيس على وحدات بناء فرعية.

وإضافة إلى خلق حيوانات مهجنة جديدة تماما عن طريق استغلال خاصية تجزئة الجينوم إلى وحدات، هناك أيضا احتمال تطبيق علم الوراثة على البشر باستخدام التكنولوجيا الحيوية بهدف استعادة شخصيات تاريخية. ويؤمن لانزا بأنه طالما أمكن استخلاص خلية سليمة من شخص توفي منذ عهد بعيد، فسوف يكون ممكنا إعادة هذا الشخص إلى الوجود مرة أخرى. وفي كاتدرائية ويستمنستر آبي، لدينا أجساد محفوظة بعناية لملوك وملكات ماتوا منذ زمن بعيد، وكذلك رفات لشعراء وشخصيات دينية وسياسيين بل وحتى لعلماء مثل إسحق نيوتن. وقد أكد لي لانزا أنه قد يصير ممكنا ذات يوم العثور على دي إن آيه سليم داخل أجسادهم ومن

ثم إعادتهم إلى الوجود من جديد.

في فيلم (صبية من البرازيل) Boys from Brazil تدور القصة حول إعادة هتلر إلى الحياة من جديد. غير أنه لا ينبغي على المرء مع ذلك أن يعتقد بأن الإنسان سوف يتمكن من تكرار عبقرية أو شهرة أي من تلك الشخصيات التاريخية. فكما ذكر أحد علماء الأحياء، إذا أعدت هتلر من جديد، فأغلب الظن أن كل ما ستحصل عليه فنان درجة ثانية (وهي المهنة التي امتنها هتلر قبل أن يصبح زعيما للحركة النازية).

## نمنع الإصابة بأي مرض

قامت فكرة الفيلم النبؤي (الأشياء الآتية) Things to come على قصة من تأليف إتش. جي. ويلز H. G. Wells. تنبأت بمستقبل الحضارة، حيث أطلقت الحرب العالمية الثانية العنان لدورة من المعاناة والبؤس للذين لا نهاية لهما. وفي الختام اختزلت جميع إنجازات الجنس البشري في أطلال، وسيطرت عصابات من القادة العسكريين على البشر الذين انسحقت أحوالهم وأصابتهم الفاقة. غير أنه في نهاية الفيلم، تبدأ مجموعة من العلماء بعيد النظر، وقد تسلحوا بأسلحة فائقة القدرات في استعادة النظام من جديد. وأخيرا تنهض الحضارة من جديد من وسط الرماد. وفي أحد مشاهد الفيلم، يتم تعليم طفلة التاريخ الوحشي للقرن العشرين فتعرف أن هناك شيئا اسمه نزلة برد. فتسأل ما هو هذا البرد؟ فيقولون لها إن نزلات البرد كانت أشياء عولجت منذ زمن بعيد.

ربما لا.



ظل الشفاء من كل الأمراض واحداً من أقدم الأهداف التي سعى إليها الإنسان على مر العصور. غير أنه حتى عندما يأتي عام 2100، لن يكون العلماء قد تمكنوا بعد من علاج جميع الأمراض، إذ إن الأمراض تحدث بها طفرات تحولية أسرع من قدرتنا على علاجها، كما أن عددها كبير جداً. إننا ننسى أحياناً أننا نعيش وسط بحر خضم من البكتيريا والفيروسات، التي توجد منذ بلايين السنين وكانت سابقة على وجود الإنسان على سطح الأرض، وسوف تبقى لبلايين السنين الأخرى بعد أن يزول الإنسان.

كثير من الأمراض مصدرها الأصلي الحيوان. وهذه واحدة من المضائبات التي ندفعها جراء تربية الحيوانات الأليفة، وهو أمر بدأ بالتقريب منذ 10 آلاف عام. لهذا يوجد مستودع هائل من الأمراض الكامنة داخل الحيوانات ربما تفوق قدرة الجنس البشري على الصمود. ومن الطبيعي، أن تلك الأمراض لا تصيب بالعدوى سوى حفنة من الأفراد. لكن مع قيام المدن الكبرى، من الممكن لتلك الأمراض التي تنتقل بالعدوى أن تنتشر سريعاً بين البشر، فتصل إلى كتلة حرجية وتسبب في أوبئة تحتاج البشر.

مثال لذلك، أن العلماء عندما حللوا التسلسل الجيني لفيروس الأنفلونزا، دهشوا لاكتشافهم أصله: الطيور. فكثير من الطيور يمكنها حمل أنواع مختلفة من فيروس الأنفلونزا دون أن تصاب بأي أعراض. لكن الخنازير بعد ذلك تعمل أحياناً كأوعية خلط وراثية، بعد أكلها روث الطيور. وبعدها كثيراً ما يعيش المزارعون بالقرب من كليهما. ويرى البعض أن هذا هو سبب قدوم فيروس الأنفلونزا في الغالب من آسيا، وذلك لأن المزارعين يمارسون التربية الجماعية لأصناف الحيوان المختلفة معاً، فيعيشون بالقرب

من كل من البط والخنزير.

وفيروس H1N1 الذي ظهر حديثا ليس سوى أحدث موجة من طفرات أنفلونزا الطيور والخنزير.

ومن بين المشكلات التي نواجهها أن الناس ينتشرون باستمرار ويتوجهون نحو بيئات جديدة، فيقطعون أشجار الغابات، وينون الضواحي والمصانع، وخلال ذلك يواجهون أمراضا استوطنت منذ القدم أجساد الحيوانات. ولما كان البشر يواصلون التوسع والانتشار في الأرض، فمعنى ذلك أن علينا أن نتوقع المزيد من المفاجآت التي تأتينا من الغابات. ومن أمثلة ذلك، أن هناك أدلة وراثية لا بأس بها على أن فيروس نقص المناعة البشري HIV بدأ في صورة فيروس نقص المناعة عند القردة SIV، الذي أصاب القرود في بادئ الأمر ثم انتقل بعدها إلى البشر. وبالمثل أصاب فيروس هانتا الناس في الجنوب الغربي عندما احتلوا أراضي كانت في الأصل مرتعا لقوارض البراري. أما مرض (لايم)، الذي ينتشر بصورة كبيرة بواسطة القراد، فقد غزا ضواحي الشمال الشرقي؛ لأن الناس ينون مساكنهم الآن بالقرب من الغابات حيث تعيش حشرة القراد. وربما كان فيروس إيبولا قد أصاب قبائل البشر في القدم، لكن مع ظهور السفر بالطائرات انتشر إلى رقعة أكبر من السكان وصارت أنبأؤه تصدر عناوين الصحف. حتى مرض (ليجيونير) ربما كان مرضا قديما ولد داخل المياه الراكدة، غير أن انتشار أجهزة تكييف الهواء ربما كان هو السبب في نشر هذا المرض وانتقاله إلى المسنين فوق سطح سفن الركاب.

ومعنى هذا، أن المفاجآت سوف تتوالى مع هجوم موجات جديدة من

الأمراض الغريبة لتسيطر على عناوين الصحف الرئيسة في المستقبل. وللأسف، قد يتأخر مجيء العلاج الشافي من تلك الأمراض. على سبيل المثال، حتى نزلة البرد العادية لا يوجد لها علاج ناجع حتى الآن. إن الكوكتيل المتنوع من المنتجات الذي تجده في أي صيدلية لا يعالج سوى الأعراض الظاهرية فقط، لكنه لا يقتل الفيروس نفسه. والمشكلة أنه ربما كان هناك 300 نوع مختلف من فيروس (راينو) (الرشح) المسبب لنزلة البرد، وببساطة فإن الأمر باهظ التكلفة، أن نصنع لقاحات لعلاج الأنواع الثلاثمئة كلها.

أما الموقف بالنسبة لفيروس نقص المناعة البشري فهو أكثر سوءاً بكثير، إذ ربما كانت توجد منه ثلاثمئة سلالة مختلفة. والحقيقة أن هذا الفيروس تحدث له تحولات جينية من السرعة بحيث أنه حتى لو أمكنك ابتكار لقاح لنوع معين منه، فإن الفيروس سرعان ما يتحول إلى نوع جديد. وابتكار لقاح لفيروس HIV أشبه بمحاولة إصابة هدف متحرك. إذن في الوقت الذي سنعالج فيه أمراضاً عديدة في المستقبل، قد يظل نفس المرض الذي تمكن من مراوغة علومنا المتقدمة بها جماً دون هوادة.

## عالم جديد تماماً

بحلول عام 2100، عندما نتمكن من السيطرة على قدرنا الوراثي، علينا أن نقارن بين مصيرنا وبين (ديستوبيا) التي رسم معالمها ألدوس هكسلي Aldous Huxley في روايته التنبؤية (عالم جديد تماماً) Brave New World، التي تقع أحداثها عام 2540. لقد تسبب الكتاب في صدمة

وفزع على نطاق عالمي عندما نشر لأول مرة عام 1932. غير أنه بعد 75 عاما أخرى، تبين أن العديد من تنبؤاته تحقق بالفعل. لقد فضح المجتمع البريطاني عندما كتب عن أطفال الأنابيب، وعندما يتم الفصل بين الخلق والإنجاب، وعندما تصير المخدرات أمرا عاديا وشائعا، غير أننا نعيش اليوم وسط عالم صار فيه الإخصاب المختبري وحبوب منع الحمل أمورا مسلما بها. (أهم تنبؤ تخيله ولم يتحقق بعد هو استنساخ البشر). لقد تخيل عالما طبقيا يستنسخ فيه الأطباء عمدا أجنة بشرية ذات مخاخ تالفة، يشبون عن الطوق ليصيروا خدما للصفوة الحاكمة. وحسب مستوى تلف المخ، يمكن تصعيدهم إلى مرتبة (ألفا)، وهم مثاليون ومقدر لهم أن يتقلدوا السلطة، ثم نزولاً إلى مرتبة (إبسيلون) (حرف E الإغريقي) الذين يزيدون قليلاً على العبيد المتخلفين عقلياً. إذن فالتكنولوجيا، بدلاً من تحرير الإنسانية من الفقر والجهل والمرض، صارت كابوساً، يفرض استقراراً مصطنعاً وفساداً على حساب حرية البشر أجمعين.

رغم دقة الرواية في عدة نواح، لم يتنبأ هكسلي مثلاً بالهندسة الوراثية. ولو علم بأمر هذه التقنية، لربما كانت المخاوف انتابته من مشكلة أخرى محتملة: هل سينقسم الجنس البشري إلى شطأيا، حيث يتلاعب آباء متقلبو الأهواء وحكومات منحرفة بجينات أبنائنا؟ فالآباء بالفعل يكسون أطفالهم ملابس أجنبية ويجعلونهم يتنافسون في مسابقات سخيفة، فلماذا إذن لا يغيرون جيناتهم بحيث تتفق ونزواتهم؟ الحقيقة أن الآباء ربما كانوا مدفوعين بخاصية التطور لمنح ذريتهم كل ميزة ممكنة، فلماذا إذن لا يتلاعبون بجيناتهم كذلك؟

وكمثال مبدئي لما يمكن أن يسير في اتجاه خاطئ، دعونا نأخذ مثلاً السونار الحقيير. فرغم أن الأطباء أدخلوا السونار في براءة ظنا منهم أنه يمثل عوناً في حالات الحمل، فإن ذلك أدى إلى وباء هائل تمثل في حالات إجهاض لإناث الأجنة، لا سيما في ريف كل من الصين والهند. ولقد توصلت إحدى الدراسات التي أجريت في بومباي إلى أن 7997 من كل 8000 جنين تم إجهاضه كن من الإناث. وفي كوريا الجنوبية 65 % من جميع الأطفال الذين يكون ترتيبهم الثالث بين الأبناء يكونون ذكورا. وسرعان ما سيصل جيل الأطفال الذين اختار آباؤهم الإجهاض بناءً على جنس الجنين إلى سن الزواج، ولن يجد ملايين منهم إناثا ليتزوجوهن. وهذا بدوره من الممكن أن يتسبب في انفصام هائل في عرى المجتمع. والفلاحون الذين أرادوا ذكورا فقط ليحملوا أسماءهم سوف يكتشفون أنه ليس لديهم أحفاد.

وفي الولايات المتحدة، هناك سوء استخدام واسع النطاق لهرمون النمو البشري (HGH)، الذي يروج له كثيرا كعلاج للشيخوخة. في البداية، كان المقصود من اللجوء لهرمون النمو البشري تصحيح حالات النقص الهرموني لدى الأطفال الذين يعانون من قصر قامة مفرط. وبدلاً من ذلك، تحول هذا الهرمون إلى صناعة ضخمة تتم في الخفاء بناءً على معلومات مشكوك في صحتها تتعلق بالشيخوخة. والواقع أن الإنترنت صنعت جمهوراً هائلاً من فئران التجارب البشرية لعلاجات زائفة.

إذن الناس كلما واتتهم الفرصة، فإنهم غالباً ما يسيئون استغلال التكنولوجيا ويمارسون قدراً هائلاً من تعمد الأذى. فما الذي يمكن أن

يحدث إذا وضعوا أيديهم على تقنيات الهندسة الوراثية؟  
 في أسوأ سيناريو يمكن أن يحدث يمكن للمرء أن يحلم بذلك الكابوس  
 الذي تخيله إتش جي ويلز H. G. Wells في روايته القصيرة من أدب  
 الخيال العلمي الكلاسيكي، (آلة الزمن) Time Machine، عندما انقسم  
 الجنس البشري عام 802701 بعد الميلاد إلى جنسين مختلفين تماما. حيث  
 كتب (بالتدريج، تبينت الحقيقة: أن الإنسان لم يعد جنسا واحدا، وإنما  
 انقسم إلى نوعين حيوانيين منفصلين تماما: أن أطفال اللطاف المنتمين  
 للطبقة الراقية لم يكونوا النسل الوحيد لجيلي، وإنما كان هناك أيضا ذلك  
 الكائن الليلي الخالي من الصبغة الجلدية الفاحش الذي ومض أمامي، وريثا  
 لكل العصور).

حتى تفهم أي التنوعات في الجنس البشري يمكن وجودها، انظر  
 فقط إلى الكلب الأليف الذي نريه في المنازل. فبرغم وجود الآلاف  
 من سلالات الكلاب، فإن جميعها ينحدر في الأصل من فصيلة الذئب  
 الرمادي Canis Lupus، الذي استؤنس منذ حوالي 10 آلاف عام في نهاية  
 آخر عصر جليدي. ونتيجة للتزويج الانتقائي من قبل أسيادهم من البشر،  
 صارت الكلاب اليوم ذات أحجام وأشكال شديدة التنوع. هيئة الجسم،  
 والطبع، واللون، والقدرة كلها تغيرت جذريا نتيجة للتناسل الانتقائي.

لما كانت سرعة الشيخوخة لدى الكلاب تفوق سرعتها لدى البشر بما يقرب  
 من سبعة أضعاف، فإن في إمكاننا أن نحسب أن حوالي 1000 جيل من الكلاب  
 وُجد على ظهر الأرض منذ انفصال جنس الكلب عن جنس الذئب. إذا طبقنا  
 هذا على البشر، فإن التربية المنهجية لسلالة البشر ربما تسببت في تقسيم الجنس

البشري إلى آلاف السلالات في 70 ألف عام فقط، برغم أنهم سينتمون إلى النوع نفسه. لكن مع الهندسة الوراثية، من الممكن منطقياً أن تتسارع خطوات هذه العملية بشكل كبير، بحيث لا تحتاج إلا إلى جيل واحد فقط.

من حسن الحظ توجد أسباب تدعو للاعتقاد بأن تقسيم الجنس البشري تطورياً لن يحدث، على الأقل خلال القرن المقبل. ففي مسألة التطور، عادةً ما يتمزق النوع الحيواني الواحد إرباً إذا انفصل أفراده جغرافياً إلى شعبين منفصلين تزاوجيا. فقد حدث هذا على سبيل المثال في أستراليا، حيث أدى الانفصال المادي للعديد من الأنواع الحيوانية إلى تطور الحيوانات الموجودة هناك إلى أنواع لا يوجد لها مثيل في أي مكان آخر على سطح الأرض، مثل ذوات الجراب التي منها حيوان الكنغر. أما مجتمعات البشر، فعلى النقيض من ذلك كثيرة التنقل، ولا يوجد لديها عنق زجاجة تطوري، وهي كثيرة الاختلاط ببعضها البعض.

ومثلما قال جريجوري ستوك Gregory Stock بجامعة كاليفورنيا بلوس أنجلوس UCLA: (التطور الدارويني التقليدي لا يحدث حالياً أي تغيير تقريباً لدى البشر وهناك احتمال ضعيف أن يفعل ذلك خلال المستقبل المنظور. فالمجتمع البشري شديد الضخامة ومتشابك الأعراق، والضغط الانتقائية شديدة المحلية، كما أنها عابرة).

هناك أيضاً قيود تفرضها قاعدة رجل الكهف.

فكما ذكرنا من قبل، غالباً ما يرفض الناس التطورات التي تأتي بها التكنولوجيا (مثال لذلك المكتب الخالي من الورق) إذا تعارضت مع الطبيعة الإنسانية، التي ظلت ثابتة نسبياً على مدى المئة ألف عام الماضية.

وقد لا يرغب الناس في خلق أطفال حسب المواصفات يختلفون عن العرف المعهود وينظر إليهم من قبل أقرانهم على أنهم كائنات شاذة. وهذا يقلل من احتمالات نجاحهم في المجتمع. فجعل أطفالنا يرتدون ملابس مضحكة شيء، والتغيير الدائم لصفاتهم الوراثية شيء مختلف تماما. (في السوق المفتوحة، ربما كان هناك مكان للجينات الشاذة، غير أن عددها ضئيل، إذ إن السوق تكون مدفوعة بطلب المستهلكين على السلعة). والأرجح، أنه بنهاية القرن، سوف تقدم للزوجين مكتبة من الجينات كي ينتقيا من بينها، في الغالب بهدف القضاء على الأمراض الوراثية، لكن هذا لا يمنع أن بعضها سيكون من أجل تحسين الصفات الوراثية. غير أنه ستكون هناك ضغوط طفيفة من السوق لتمويل دراسة الجينات الشاذة؛ لأن الطلب عليها سوف يكون بالغ الضالة.

الخطر الحقيقي لن يأتي بصورة واضحة من طلب المستهلك وإنما سيكون مصدره الحكومات الدكتاتورية التي ربما ترغب في استغلال الهندسة الوراثية في تحقيق أغراضها الخاصة، مثل استيلاء محاربين أكثر قوة لكنهم في الوقت نفسه أكثر طاعة وإخلاصا.

هناك مشكلة أخرى ستظهر في المستقبل البعيد، عندما توجد لنا مستعمرات فضائية فوق أسطح كواكب أخرى تختلف في جاذبيتها وكذلك ظروفها المناخية عن تلك السائدة على الأرض. وعند هذه النقطة، التي ربما تأتي خلال القرن القادم، يصبح من الواقعي أن نفكر في هندسة سلالة جديدة من البشر يمكنها التأقلم مع مجالات جاذبية وظروف مناخية مختلفة. مثال لذلك، ربما صارت سلالة جديدة من البشر قادرة على



استهلاك مقادير مختلفة من الأكسجين، والتكيف مع طول مختلف لساعات اليوم الواحد، وتتمتع بوزن جسم مختلف ومعدل تمثيل غذائي مختلف. غير أن السفر إلى الفضاء سوف يكون باهظ التكلفة وسيظل كذلك لفترة طويلة. وبحلول نهاية القرن، ربما أمكننا إقامة محطة فضائية صغيرة فوق سطح كوكب المريخ، غير أن الغالبية العظمى من الجنس البشري سوف تبقى فوق كوكب الأرض. وطيلة عقود وحتى قرون مقبلة، سوف يظل ارتياد الفضاء مقصوراً فقط على رواد الفضاء، والأثرياء وربما حفنة من الاستعماريين الجسورين.

إذن تقسيم الجنس البشري إلى أنواع مختلفة يفصل بينها الفضاء في جميع أنحاء المجموعة الشمسية وما وراءها لن يحدث خلال هذا القرن، وربما لن يحدث حتى في القرن المقبل. طيلة المستقبل المنظور، وما لم تحدث طفرات علمية رهيبية في تكنولوجيا الفضاء، سوف نظل ملتصقين إلى حد بعيد بكوكبنا الأرض.

وأخيراً، هناك تهديد آخر يواجهنا قبل بلوغ عام 2100: وهو أن هذه التكنولوجيا ربما تتحول عن عمد إلى عدو لنا، في صورة حرب جرثومية تستخدم الجراثيم محددة الموصفات.

## الحرب الجرثومية

يعود تاريخ الحرب الجرثومية إلى فترة نزول التوراة. فقد اعتاد المحاربون القدماء على إلقاء الجثث المصابة بأمراض من فوق أسوار مدن الأعداء أو تسميم آبارهم بجيف الحيوانات النافقة. وكان من بين الوسائل الأخرى

للقضاء على عدو تقديم ملابس له تم تلويثها بميكروب الجدري. لكن مع ظهور التكنولوجيا الحديثة، يمكن استيلاد جراثيم بطريقة الهندسة الوراثية في مقدورها محو ملايين البشر من على ظهر الأرض.

في عام 1972، وقعت الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي السابق معاهدة تاريخية تحظر استخدام الحرب الجرثومية في أغراض هجومية. غير أن تكنولوجيا الهندسة الحيوية صارت متقدمة الآن إلى الحد الذي جعل هذه المعاهدة بلا معنى.

أول شيء، أنه لا يوجد شيء اسمه تكنولوجيا هجومية وأخرى دفاعية إذا أردنا الحديث عن أبحاث دي إن آيه. ويمكن استخدام مسألة التلاعب في الجينات لأي من الغرضين.

والأمر الثاني، أنه مع استخدام الهندسة الوراثية، من الممكن خلق أسلحة جرثومية، وهي تلك الجراثيم التي تم تعديل صفاتها عن عمد من أجل زيادة قدراتها القاتلة أو قدرتها على الانتشار في البيئة. لقد كان يعتقد ذات يوم أن الولايات المتحدة وروسيا فقط هما اللتان تمتلكان آخر زجاجات حاوية لميكروب الجدري، وهو أكبر قاتل في تاريخ البشرية. وفي عام 1992، زعم أحد المنشقين عن الاتحاد السوفيتي أن الروس صنعوا سلاحا جرثوميا من ميكروب الجدري بل وأنتجوا منه بالفعل عشرين طنا. ومع انهيار الاتحاد السوفيتي، هناك تخوف شديد من أن تأتي يوما ما جماعة إرهابية لتدفع بالأموال من أجل الحصول على سلاح الجدري الجرثومي.

في عام 2005، نجح علماء الأحياء في إعادة إحياء فيروس الأنفلونزا الإسبانية الذي ظهر عام 1918 وتسبب في مصرع أعداد تفوق من قتلوا

في الحرب العالمية الأولى. وما يثير الإعجاب حقاً، أنهم تمكنوا من إحياء الفيروس عن طريق تحليل أجروه لجسد امرأة ماتت ودفنت في الثلجة السرمدية بآلاسكا، بالإضافة إلى عينات أخذت من جنود أمريكيين إبان وقوع الجائحة.

ومضى العلماء بعد ذلك قدما في نشر الجينوم الكامل للفيروس على شبكة الإنترنت، فجعلوه معلوما للعالم أجمع. وقد استاء كثير من العلماء حيال هذا التصرف، إذ إنه يمكن ذات يوم حتى لطالب جامعي لديه القدرة على دخول معمل الجامعة إحياء واحد من أكبر الميكروبات القاتلة في تاريخ البشرية.

على المدى القصير، كان نشر خريطة جينوم فيروس الأنفلونزا الإسبانية يمثل منجما للعلماء، الذين أمكنهم حينئذ فحص الجينات لحل لغز طالما حير ألبابهم: كيف تسببت طفرة تحولية بهذه الضائلة في مثل هذا الدمار واسع الانتشار للمجتمع الإنساني؟ وسرعان ما عثر على الإجابة. إن فيروس الأنفلونزا الإسبانية، على عكس الأنواع الأخرى من الفيروسات، يتسبب في نشاط زائد لجهاز المناعة بالجسم فيجعله يطلق كميات هائلة من السوائل هي التي تقتل المريض في نهاية الأمر. فيمكن القول بأن الإنسان فعليا يغرق في سوائله. وبمجرد إدراك هذه الحقيقة، أمكن مقارنة الجينات التي تسبب في هذا التأثير المميت بجينات فيروس الأنفلونزا H1N1 وغيرها من الفيروسات، ولحسن الحظ، لم يكن أيها يمتلك هذا الجين القاتل. والأكثر من هذا، أنه صار بإمكان المرء أن يحسب فعليا مدى اقتراب الفيروس من بلوغ قدرته المنذرة بالخطر، وما زال فيروس أنفلونزا

H1N1 بعيدا عن تحقيق هذه القدرة.

لكن في الأجل البعيد، هناك ثمن علينا أن نسدده. ففي كل عام يصير التلاعب في جينات الكائنات الحية أيسر وأيسر. وما زالت التكلفة تواصل انخفاضها، كما أن المعلومات متوفرة على نطاق واسع على شبكة الإنترنت.

وفي غضون بضعة عقود، يؤمن بعض العلماء بأنه سوف يكون متاحا خلق ماكينة تتيح لك صنع أي جين ببساطة بمجرد طبع المكونات المرغوب فيها على لوحة المفاتيح. فبكتابة الرموز أ-ث-س-ج التي يتشكل منها الجين، تقوم الماكينة بصورة أوتوماتيكية بطريقة القص واللصق بتخليق دي إن أيه لصنع هذا الجين. إذا حدث هذا، فإن معناه أن حتى طلبة المدارس الثانوية ربما صار في استطاعتهم يوما ما إجراء عمليات تلاعب متقدمة في أشكال الحياة.

أحد السيناريوهات الأشبه بالكوابيس هو الإيدز المحمول جوا. ففيروسات البرد، مثلاً، تمتلك بضعة جينات تسمح لها بالحياة داخل قطرات الرذاذ دقيقة الحجم، ولهذا يمكن للعدوى أن تنتقل بين الناس عن طريق العطس. وفي الوقت الحالي، ما زال فيروس الإيدز شديد الوهن عند تعرضه للبيئة المحيطة. لكن إذا تم زرع جينات فيروس البرد في فيروس الإيدز، فإنه يمكننا أن نتخيل ساعتها أنه سيصير قادرا على الحياة خارج الجسم البشري. وهذا من الممكن أن يتسبب في قدرة فيروس الإيدز على الانتشار مثله مثل فيروس البرد، ومن ثم يصيب قطاعا هائلاً من البشر بالعدوى. من المعروف أيضاً أن الفيروسات والبكتريا يتبادلان الجينات

فيما بينهما، ولهذا أيضا هناك احتمال أن يتمكن فيروسا الإيدز والبرد من تبادل الجينات فيما بينهما بطريقة طبيعية، إلا أن هذا الاحتمال أضعف. وفي المستقبل، ربما تتمكن جماعة إرهابية أو إحدى الدول من استخدام سلاح الإيدز. الأمر الوحيد الذي يمنعهم من إطلاق سراحه أنهم هم أيضا من الممكن أن يصيبهم أذاه لو أن الفيروس انتشر في البيئة.

لقد صار هذا التهديد أمرا واقعا بعد أحداث الحادي عشر من سبتمبر المأساوية مباشرة. فقد أرسل شخص مجهول الهوية طرودا بريدية بها مسحوق أبيض يحتوي على جراثيم الأنثراكس (الجمرة الخبيثة) إلى سياسيين مشاهير في جميع أنحاء البلاد. وبالتحليل المجهرى الدقيق للمسحوق الأبيض تبين أن جراثيم الجمرة الخبيثة تحولت إلى سلاح جرثومي يحقق أعلى نسبة من الوفيات والدمار. وعلى حين غرة تملك البلاد بأسرها فرع هائل من أن تتمكن جماعة إرهابية من الحصول على أسلحة بيولوجية متقدمة. وبرغم وجود الجمرة الخبيثة داخل التربة وفي جميع أنحاء بيئتنا، فإنه ليس في مقدور سوى شخص يملك تدريباً متقدماً ونوايا جنونية تنقية الجمرة الخبيثة وتحويلها إلى سلاح بيولوجي وأن ينجح في هذا العمل.

وحتى بعد القيام بأكبر مطاردة في تاريخ الولايات المتحدة، لم يعثر على الجاني أبدا، حتى يومنا هذا (رغم أن المشتبه به الرئيس أقدم على الانتحار مؤخرا). والنقطة التي نود أن نشيرها هنا أنه حتى لو كان هناك شخص بمفرده ولديه بعض التدريب البيولوجي المتقدم لأمكنه أن يروع أمة بأسرها.

هناك عامل مقيد كبح جماح الحرب الجرثومية، وهو ببساطة المصلحة الشخصية. فخلال الحرب العالمية الأولى، كانت فعالية الغاز السام في ميدان المعركة متضاربة. كانت ظروف الرياح غالبا يصعب التنبؤ بها، لهذا كان من الممكن للغاز أن يهب عائدا نحو القوات التي أطلقته. فقيمتة الحربية مصدرها الرئيس إدخال الرعب في قلوب الأعداء، لا دحره وهزيمته. ولا توجد معركة واحدة حاسمة حسم فيها النصر باستخدام الغاز السام وحده. وحتى أثناء ذروة الحرب الباردة، كان كلا الجانبين على علم بأن الغاز السام والأسلحة البيولوجية قد تكون لها آثار يصعب التنبؤ بها في ساحات المعارك وأنها من الممكن بسهولة أن تتصاعد وتيرتها إلى أن تتحول إلى مواجهة نووية.

جميع المزايم التي وردت في هذا الفصل، كما رأينا، تضمنت التلاعب بالجينات والبروتينات والجزئيات. من الطبيعي إذن أن يُثار التساؤل التالي: ما مبلغ قدرتنا إذن على التلاعب في كل ذرة على حدة؟



## الفصل الرابع





# تكنولوجيا النانو كل شيء من لا شيء

«إن مبادئ الفيزياء - حسبما أرى - لا تتعارض مع إمكانية التلاعب بالأشياء ذرة بذرة»

- ريتشارد فاينمان<sup>(1)</sup>، الحائز على جائزة نوبل

«لقد منحنا تكنولوجيا النانو أدوات ستمكننا من اللعب بصندوق ألعاب الطبيعة التي لا نهاية لها؛ من ذرات وجزيئات. إن كل شيء من الذرات والجزيئات، ويبدو أن احتمالات إيجاد أشياء جديدة لا حدود لها الآن»

- هورست شتورمر<sup>(2)</sup>، الحائز على جائزة نوبل

«إن دور الشيء متناهي الصغر لدور غاية في الضخامة»

- لويس باستير<sup>(3)</sup>

- 
- (1) ريتشارد فاينمان Richard Feynman: فيزيائي أمريكي شهير. قام بتطوير نظرية الكم الكهروديناميكي، وتنبأ ميكراً بعصر تكنولوجيا النانو (تقنية الأجسام النانوية التي تكون أبعادها في حدود واحد على مليار من المتر). كان من ضمن الفريق الذي صنع القنبلة الذرية. نال جائزة نوبل في الفيزياء عام 1965. (المترجم)
- (2) هورست شتورمر Horst Stormer: عالم فيزيائي ألماني. حاز على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1998 بالمشاركة مع العالمين روبرت لافلين ودانيل تسوي عن اكتشافهم تأثير هول الكمي. ولد بمدينة فرانكفورت بألمانيا، ودرس بجامعة فرانكفورت، ثم أجرى أبحاثه في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا. (المترجم)
- (3) لويس باستير Louis Pasteur: عالم أحياء دقيقة وكيميائي فرنسي. معروف لدى العامة بتجاربه التي أثبتت أن الكائنات الدقيقة هي المسؤولة عن الأمراض، وعن اللقاحات، وبصفة خاصة اللقاح ضد داء الكلب، وله أيضاً اكتشاف عظيم في الكيمياء بخصوص تناسق الجزيئات في المادة. يعتبر مبتكر عملية البسترة في الحليب، وهي عملية تسخين الحليب لقتل الجراثيم والميكروبات الموجودة فيه، ثم تبريده وحفظه بارداً. (المترجم)

إن استخدم الأدوات ببراعة لهُوَ الإنجاز الذي يتوج رؤوس البشر ويميزهم عن الحيوانات. ووفق الأساطير الإغريقية والرومانية، بدأت هذه المسألة باستيلاء (بروميثيوس) Prometheus - بدافع شففته على حال البشر - على هدية ثمينة، وهي النار، من أتون (فولكان) Vulcan (إله المعادن والنار عند الرومان). غير أن هذه السرقة أغضبت الآلهة. ولما أراد (زيوس) Zeus معاقبة البشرية، ابتكر حيلة بارعة. لقد طلب من (فولكان) أن يصنع صندوقاً وامرأة جميلة من المعدن؛ فصنع فولكان هذا التمثال المسمى (باندورا) Pandora، ثم استخدم سحره ليعث فيها الحياة، وأمرها ألا تفتح الصندوق مهما حدث. لكنها بدافع من الفضول خالفت أمره ذات يوم وفتحت الصندوق، فأطلقت بذلك جميع رياح الفوضى والبؤس والشقاء التي اجتاحت العالم، ولم يتبق في الصندوق سوى الأمل. وهكذا، خرجت من أتون (فولكان) السماوي أحلام البشر ومعاناتهم. واليوم، أصبحنا نصمم آلات ثورية حديثة تعد الأروع على الإطلاق، وهي مكونة من ذرات منفردة. لكن هل ستطلق تلك الأدوات سراح نار التنوير والمعرفة أم رياح الفوضى والشقاء؟

عبر تاريخ الإنسانية كله، كان إتقان استخدام الأدوات هو ما حدد مصائرنا. فعندما أتقن الإنسان صنع القوس والسهم منذ آلاف السنين، صرنا قادرين على إطلاق المقذوفات لمسافات أبعد كثيراً مما تستطيع أيدينا، فزاد ذلك من كفاءة صيدنا، وزاد بالتالي من مواردنا الغذائية. وعندما ابتكر علم المعادن منذ حوالي سبعة آلاف عام، صرنا قادرين على استبدال الأكواخ المصنوعة من الطين والقش ببنائات هائلة ترتفع عن سطح

الأرض ارتفاعات شاهقة. وعلى الفور، بدأت الإمبراطوريات تنهض من بين الأحراش والفيافي وقد شُيدت بأدوات صُنعت من المعادن. والآن، نحن على وشك إتقان استخدام نخط مختلف تماماً من الأدوات، وهو أقوى بكثير من أي شيء شهدناه من قبل. هذه المرة، سوف نصبح قادرين على التحكم في الذرات نفسها التي خُلق منها كل شيء. وخلال هذا القرن، ربما نمتلك أهم أداة تخيلها بشر على مر العصور؛ تكنولوجيا النانو<sup>(1)</sup> nanotechnology التي ستتيح لنا التحكم في كل ذرة على نحو منفرد. وقد يكون هذا بمثابة الثورة الصناعية الثانية، إذ إن التصنيع الجزيئي يخلق مواداً جديدة لا يمكننا اليوم سوى أن نحلم بها فقط، فهي مواد فائقة القوة وخفة الوزن إلى حد هائل، وذات خواص كهربية ومغناطيسية مذهلة.

لقد صرح ريتشارد سمولي Richard Smalley الحائز على جائزة نوبل قائلاً: (أعظم حلم لتكنولوجيا النانو أن تصبح قادراً على أن تبني بالذرات وكأنك تشيد بناية سكنية عادية). بينما قال فيليب كيوكس Philip Kuekes من شركة هيوليت باكارد Hewlett – Packard: (في نهاية المطاف، لا يقتصر الهدف على تصنيع أجهزة كمبيوتر في حجم ذرات

(1) تكنولوجيا النانو، أو تقنية النانو، أو النانو تكنولوجيا nanotechnology: العلم الذي يهتم بدراسة معالجة المادة على المقياس الذري والجزيئي. وهي تقنية تهتم بانسكاك وسائل جديدة تقاس أبعادها بالنانومتر؛ وهو جزء من الألف من الميكرومتر، أي جزء من المليون من المليمتر. وعادة تتعامل هذه التقنية مع قياسات بين 0.1 إلى 100 نانومتر، أي تتعامل مع تجمعات ذرية تتراوح بين خمس ذرات وألف ذرة، وهي أبعاد أقل كثيراً من أبعاد البكتيريا والخلية الحية. وحتى الآن، لا تختص هذه التقنية بعلم الأحياء، بل تهتم بخواص المواد، وتتنوع مجالاتها بشكل واسع من أشباه الموصلات إلى طرق حديثة تماماً معتمدة على التجمع الذاتي الجزيئي. لكن هذا التحديد بالقياس يقابله اتساع في طبيعة المواد المستخدمة، فهذه التقنية تتعامل مع أي ظواهر أو بنائات على مستوى النانو الصغير. (المترجم)

الغبار وحسب، وإنما ستكون الفكرة صنع أجهزة كمبيوتر بسيطة بحجم البكتريا. وحينها، يمكنك دمج شيء بنفس قوة الجهاز الموجود الآن على سطح مكتبك داخل ذرة غبار).

والحقيقة أن هذا لم يعد مجرد شطط من خيال وأوهام جامحة لأناس حاملين متفائلين. إن الحكومة الأمريكية تأخذه على محمل الجد. ففي عام 2009، وبسبب الإمكانيات الجبارة لتكنولوجيا النانو التي من الممكن تطبيقها في مجالات الطب والصناعة والطيران والفضاء والتجارة، خصصت المبادرة القومية لتكنولوجيا النانو National Nanotechnology Initiative نحو 1.5 مليار دولار للأبحاث في هذا المجال. وينص تقرير تكنولوجيا النانو الذي رفعته المؤسسة الوطنية للعلوم National Science Foundation، الحكومة الأمريكية، على أن (تكنولوجيا النانو لديها القدرة على تحسين الأداء البشري والارتقاء به، وعلى إحداث تطوير مستدام للمواد والماء والطاقة والغذاء، وحمايتنا من البكتريا والفيروسات المجهولة...).

وفي نهاية المطاف، قد يكون الاقتصاد العالمي ومصير الأمم مرهونا بهذا. فبحلول عام 2020، أو بعد ذلك بقليل، سوف يبدأ (قانون مور) Moore's law في التدهور، وربما انهيار في النهاية. وقد يلقي هذا باقتصاد العالم في حالة من الفوضى العارمة ما لم يعثر علماء الفيزياء على بديل ملائم للترانزستورات المصنوعة من السليكون لتشغيل أجهزة الحاسوب. وربما يظهر حل هذه المشكلة على يد تكنولوجيا النانو.

كذلك ربما تتمكن تكنولوجيا النانو، بحلول نهاية هذا القرن، من صنع آلة ما كان لإنسان أن يحلم بأن يتمكن البشر من صنعها؛ آلة يمكنها خلق

أي شيء من لا شيء تقريبا.

## دنيا الكم

كان أول من لفت الأنظار إلى ذلك المجال الجديد في علم الفيزياء العالم الحائز على جائزة نوبل ريتشارد فينمان Richard Feynman الذي طرح سؤالاً بسيطاً على نحو خادع: إلى أي مدى يمكن أن نجعل الآلات أصغر حجماً؟ وبالطبع لم يكن هذا سؤالاً أكاديمياً. وقد ظلت أجهزة الحاسب تصغر في الحجم بالتدريج، مغيرة بذلك وجه الصناعة، وبهذا صار من الواضح أن الإجابة عن هذا السؤال يمكن أن تكون ذات تأثير هائل على المجتمع وعلى الاقتصاد.

وفي كلمته التنبؤية التي ألقاها عام 1959 أمام الجمعية الفيزيائية الأمريكية American Physical Society، بعنوان (هناك متسع رحب عند القاع) There's Plenty of Room at the Bottom، قال فينمان: (من المثير أنه قد يكون من الممكن - من حيث المبدأ - (حسبما أظن) لعالم الفيزياء أن يركب أي مادة كيميائية يكتبها كيميائي. أعط الأوامر، وسوف يقوم الفيزيائي بالتصنيع. كيف هذا؟ ضع الذرات حيث يريدك الكيميائي، وبهذا تصنع المادة). واختتم فينمان حديثه بأنه من الممكن تصنيع آلات كل منها يتكون من ذرة واحدة، وإن كانت قوانين الفيزياء الحديثة سوف تجعل هذا الأمر صعباً، لكن ليس مستحيلاً على أية حال.

لذا، قد يعتمد اقتصاد العالم ومصير الأمم، في نهاية المطاف، على المبادئ الغريبة غير المنطقية التي تقوم عليها نظرية الكم. ومن الطبيعي أننا نظن أن قوانين الفيزياء تظل كما هي كلما هبطنا إلى مقاييس أصغر حجماً، لكن

هذا ليس صحيحاً. ولعلنا نتذكر في بعض الأفلام، مثل فيلم (عزيزتي)، لقد جعلت الأطفال ينكمشون (Honey, I shrunk the kids) وفيلم (الرجل الخارق المنكمش) The Incredible shrinking man، من إنتاج ديزني Disney، كيف سيطر علينا انطباع خاطئ بأن الناس الذين تم تصغيرهم سوف يخضعون لقوانين الفيزياء ذاتها التي نخضع نحن لها. ومن أمثلة ذلك أنه في أحد مشاهد فيلم ديزني يمتطي أبطالنا المنكمشون ظهر نملة أثناء هبوب عاصفة مطيرة. وتسقط قطرات المطر على الأرض فتصنع مستنقعات متناهية الصغر من الوحل، تماماً مثلما يحدث في عالمنا الطبيعي. غير أنه قد تكون قطرات المطر، في واقع الأمر، أكبر حجماً من النمل. وهكذا، فإنه عندما تواجه نملة ما قطرة مطر، سوف تشاهد نصف كرة هائل من الماء. ولا ينهار ذلك النصف كرة من الماء لأن التوتر السطحي يؤدي دور شبكة تحافظ على تماسك قطرة الماء. وفي عالمنا، يكون هذا التوتر السطحي للماء بالغ الصغر، ولهذا لا نلاحظه. لكن بمقياس نملة، يعد التوتر السطحي ضخماً نسبياً، ولهذا يكون المطر على هيئة قطرات تشبه حبات السبحة.

(علاوة على ذلك، إذا حاولت أن تجعل حجم النملة أكبر، بحيث صارت في حجم منزل مثلاً، فإنك ستواجه مشكلة أخرى: إن سيقانها سوف تنكسر. فمع زيادة حجم النملة، يزداد وزنها بمعدل أسرع بكثير من قوة سيقانها. فإذا زاد حجم نملة ما 10 أضعاف، صارت كتلتها - ومن ثم وزنها - أثقل بمقدار:  $10 \times 10 \times 10 = 1000$  مرة. غير أن قوتها هذه لا تتناسب مع سمك عضلاتها التي لا تزداد قوتها إلا بمقدار:  $10 \times 10 = 100$  مرة فقط. ومن هنا، فإن النملة العملاقة تصير أضعف نسبياً بمقدار

عشر مرات من النملة العادية. وهذا معناه أيضاً أن (كينج كونج) بدلاً من أن يثير الفزع في مدينة نيويورك - كما يحدث في الفيلم - سوف يسقط منها إذا هو حاول تسلق مبنى الإمبر ستيت).

وقد ذكر فينمان أن هناك قوى أخرى تهيمن بدورها على النطاق الذري، مثل الرابطة الهيدروجينية وقوى فان دير فالس<sup>(1)</sup> van der Waals forces التي تحدثها القوى الكهربائية بالصغر الموجودة بين الذرات والجزيئات. ويبدو أن كثيراً من خصائص المواد الفيزيائية تتحدد عن طريق تلك القوى. (حتى يمكننا تخيل هذا، تأمل المشكلة البسيطة التي تجعلنا نرى الكثير من الأحاديث في الطرق السريعة. منطقة الشمال الشرقي. ففي كل فصل شتاء، يتسرب الماء إلى الشقوق الدقيقة الموجودة بالأسفلت، ويتمدد الماء عند تجمده، مما يجعل الأسفلت يتفتق محدثاً أحاديث. لكن من المنافي للمنطق أن نظن أن الماء يتمدد عندما يتجمد، فالماء يتمدد بسبب الروابط الهيدروجينية. وجزيء الماء يتخذ شكل حرف V، حيث تكون ذرة الأكسجين عند قاعدته. ويحمل هذا الجزيء شحنة سالبة ضعيفة عند قاعدته وشحنة موجبة عند قمته. ومن ثم، عندما نقوم بتجميد الماء وتتراكم جزيئاته فوق بعضها، تتمدد هذه الجزيئات لتصنع الشبكة المنتظمة المعهودة من الثلج التي تكون فيها فراغات هائلة بين الجزيئات وبعضها. وتنظم جزيئات الماء في أشكال سداسية الأضلاع. ولهذا يتمدد الماء

(1) قوى فان دير فالس van der Waals forces: قوى التأثيرات المتبادلة بين جزيئات المادة الواحدة المتعادلة كهربياً مع بعضها بعضاً، التي تنتج من تجاذب نوى الذرات في جزيء مع إلكترونات التكافؤ في جزيء مجاور. وتوجد هذه القوى عادة في جزيئات المركبات التساهمية غير القطبية. (المترجم)



عند تجمده لزيادة حجم الفراغات بين الذرات المكونة للشكل سداسي الأضلاع. وهذا أيضا هو السبب وراء وجود ستة أسطح لرقاقات الجليد المتساقطة، وهو ما يفسر كذلك مسألة طفو الثلج فوق الماء، مع أنه بالبديهة من المفترض أن يغوص لأسفل).

## اختراق الجدران

علاوة على التوتر السطحي، والروابط الهيدروجينية وقوى فان دير فالس، هناك أيضا تأثيرات الكم العجيبة على النطاق الذري. وفي الأحوال العادية، لا يمكننا أن نشاهد قوى الكم أثناء عملها خلال حياتنا اليومية، غير أنها موجودة في كل مكان. ومن الأمثلة على ذلك، أننا لا نستطيع النفاذ من خلال الجدران، مع أنها تتكون من ذرات معروف أنها في معظمها خاوية. فبين النواة الواقعة في مركز كل ذرة وبين أغلفة الإلكترونات، لا يوجد سوى فراغ. ولو أننا تخيلنا أن الذرة في حجم ملعب كرة قدم مثلاً، لكان ذلك الملعب خاوياً تقريباً، إذ إن النواة يماثل حجمها حجم حبة رمل وسط هذا الملعب.

(أحياناً نشير دهشة طلابنا بتجربة توضيحية بسيطة. فنأخذ عداد جايجر<sup>(1)</sup> Geiger counter ونضعه أمام أحد الطلاب، ثم نضع قرصاً

(1) عداد جايجر Geiger counter: أحد أدوات اكتشاف الإشعاعات المؤينة، مثل أشعة جاما والأشعة السينية وكذلك الإلكترونات السريعة ومنها أنواع لقياس أشعة ألفا. ويسهل استخدامه في كل مكان، حيث هو عبارة عن مكشاف حسّاس في صورة أسطوانة طولها نحو 15 سنتيمتر متصلة بجهاز إلكتروني يشبه الراديو الصغير بواسطة كبل، ويسهل حملهما. (المترجم)

ذا نشاط إشعاعي غير ضار وراء ظهره. ويجفل الطالب عندما تمر بعض الجسيمات من خلال جسده، فتقوم باستشارة عداد جايجر وتحريك مؤشره، كما لو كان جسد الطالب شبه خاو، وهو كذلك بالفعل).

لكن إذا كنا عبارة عن خواء تقريبا، لماذا إذن لا يمكننا النفاذ عبر الجدران؟ في فيلم (الشبح) Ghost، تتعرض شخصية باتريك سوايز للقتل على يد أحد أعدائه فيتحول إلى شبح. وكان يصاب بخيبة الأمل في كل مرة يحاول فيها لمس خطيبته السابقة التي تلعب دورها ديمي مور. وتمر يده من خلال المادة العادية، ليكتشف أنه ليس مكونا من مادة وأنه يسبح بسهولة عبر الأجسام الصلبة. وفي أحد مشاهد الفيلم، يدخل رأسه داخل عربة مترو أنفاق وهي تتحرك. ويسرع القطار سيره وقد انحشرت رأسه بداخله، غير أنه لا يشعر بأي شيء. (لا يشرح الفيلم سبب عدم جذب الجاذبية الأرضية له عبر الأرض حتى يسقط نحو مركز الأرض. فالأشباح، فيما يبدو، يمكنها المرور عبر أي شيء فيما عدا الأرض).

إذن لماذا لا يمكننا النفاذ عبر الأجسام الصلبة مثلما تفعل الأشباح؟ إن الإجابة تكمن في ظاهرة كمية عجيبة نص عليها مبدأ الاستبعاد<sup>(1)</sup> exclusion principle الذي وضعه (باولي) Pauli، وهي أنه لا يمكن للإلكترونين اثنين أن يتواجدا في الحالة الكمية ذاتها. ومن ثم، فإنه عندما يقترب إلكترونان شبه متطابقين من بعضهما جدا، يتنافران. وهذا هو

(1) مبدأ الاستبعاد exclusion principle: مبدأ فيزيائي صاغه عالم الفيزياء النمساوي باولي Pauli عام 1925، ضمن نظرية ميكانيكا الكم. (المترجم)

السبب الذي يجعل الأشياء تبدو صلبة، في حين أن صلابتها تلك محض وهم. فالواقع أن المادة من حيث المبدأ خاوية في الأساس. إننا عندما نجلس على مقعد، نظن أننا ملامسون له، والواقع أننا نحلق فوقه، أو نطفو فوقه على بعد أقل من نانومتر، مدفوعين عنه بتنافر القوى الكهربائية وقوى الكم. ويعني هذا أننا متى (لامسنا) شيئاً، فإننا في الواقع لا نلامسه ملامسة مباشرة على الإطلاق، لكن تفصلنا عنه تلك القوى الذرية بالغة الصغر. (ويعني هذا أيضاً أننا لو تمكنا، بشكل أو بآخر، من تحييد مبدأ الاستبعاد، فإننا ربما نكون قادرين على المرور عبر الجدران. لكن لا أحد يعلم كيف يمكن تحقيق ذلك).

إن نظرية الكم لا تقضي فقط بمنع الذرات من الاصطدام ببعضها بعضاً، ونفاذاً عبر بعضها بعضاً، وإنما تربط بينها من خلال جمعها معاً في جزيئات. تخيل لبرهة أن الذرة تشبه مجموعة شمسية بالغة الصغر، حيث تدور الكواكب فيها حول الشمس. والآن، إذا اصطدم نظامان شمسيان مثل هذين بعضهما، فإن كواكب كل منهما ستصطدم ببعضها بعضاً أو تطير في جميع الاتجاهات، مسببة انهيار المجموعة الشمسية. إن المجموعات الشمسية لا تظل مستقرة مطلقاً عند اصطدامها ببعضها، لذا فمن البدهي أن الذرات ستتهار عند اصطدامها ببعضها بعضاً.

أما في الواقع، فعندما تقترب ذرتان من بعضهما بمسافة بالغة الصغر، فإنهما إما تبتعدان عن بعضهما أو تتحدان لتصنعاً جزيئاً مستقراً. والسبب الذي يُمكن الذرات من تكوين جزيئات مستقرة أن الإلكترونات تقبل أن تتقاسمها ذرتان. وفي الأحوال الطبيعية، تبدو لنا فكرة اقتسام أحد

الإلكترونات بين ذرتين شيئاً منافياً للمنطق؛ إنها فكرة مستحيلة إذا كان الإلكترون يخضع لقوانين نيوتن البديهية. لكن بسبب مبدأ عدم التأكد<sup>(1)</sup> uncertainty principle لهايزنبرج<sup>(2)</sup> Heisenberg، فإنك لا تعلم على وجه الدقة أين موقع الإلكترون بالضبط. وبدلاً من ذلك، فإن الإلكترون موجود بصورة غير واضحة في موضع ما بين الذرتين، وهو ما يربط بينهما.

وبعبارة أخرى، إذا أبطلت مفعول نظرية الكم، فإن الجزئيات تتهاوى عند اصطدامها ببعضها بعضاً، وسوف تذوب وتحلل لتتحول إلى غاز مكون من جسيمات. لذا، فإن نظرية الكم تفسر لنا السبب الذي يمكن الذرات من الاتحاد معا لتكوين مادة صلبة، بدلاً من أن تتحلل.

(وهذا أيضاً هو السبب الذي يمنع وجود عوالم داخل عوالم. فبعض الناس يتخيلون أن مجموعتنا الشمسية، أو مجرتنا، ربما كانت عبارة عن ذرة داخل كون عملاق لشخص آخر. وقد كان هذا في واقع الأمر هو المشهد الأخير في فيلم (رجال يرتدون اللون الأسود) Men in Black، حيث تبين أن الكون المعلوم لنا بالكامل ليس سوى مجرد ذرة في لعبة كائن غريب. لكن، وفقاً لقوانين الفيزياء، هذا الأمر مستحيل، إذ إن قوانين الفيزياء تتغير عند انتقالنا من نطاق إلى نطاق. فالقواعد التي تحكم الذرات تختلف تماماً عن القواعد الحاكمة للمجرات).

(1) مبدأ عدم التأكد أو مبدأ الريبة uncertainty principle: واحد من أهم المبادئ في نظرية الكم، صاغه العالم الألماني هايزنبرج عام 1925. وينص هذا المبدأ على أنه لا يمكن تحديد خاصيتين مقاستين من خواص جملة كمومية إلا ضمن حدود معينة من الدقة، أي أن تحديد إحدى الخاصيتين بدقة كبيرة (ذات عدم تأكد ضئيل) يستتبعه عدم تأكد كبير في قياس الخاصية الأخرى. ويشيع تطبيق هذا المبدأ بكثرة على خاصيتي تحديد الموضع والسرعة لجسيم أولي. (المترجم)

(2) فرنر كارل هايزنبرج Werner Heisenberg: فيزيائي ألماني حائز على جائزة نوبل عام 1932. اكتشف أحد أهم مبادئ الفيزياء الحديثة، وهو مبدأ عدم التأكد. من مؤلفاته: (الجزء والكل)، (الفلسفة والفيزياء)، (الطبيعة في الفيزياء). (المترجم)

ومن بين المبادئ المحيرة للعقل التي تضمها نظرية الكم أنه: لا يمكنك أن تعرف على نحو الدقة سرعة وموقع أي جسيم، فهذا الأمر غامض دوماً.

يمكن للجسيمات، بمعنى أو بآخر، أن تتواجد في مكانين في آن واحد على هيئة أخلاط من حالات مختلفة. وعلى سبيل المثال، يمكن للجسيمات التي تدور في حركة مغزلية أن تكون أخلاطاً من جسيمات تدور محاورها لأعلى ولأسفل في آن واحد.

يمكنك أن تختفي، ثم تعاود الظهور في مكان آخر. إن جميع العبارات السابقة تبدو سخيفة. ويذكر أن أينشتاين قال ذات مرة: (كلما زادت نظرية الكم نجاحاً، بدت أكثر سخافة). ولا أحد يعلم من أين جاءت تلك القوانين الشاذة؛ إنها ببساطة مسلمات، من دون تفسير. وهناك أمر واحد فقط يؤيد نظرية الكم، وهو أنها صحيحة. لقد قيست دقتها حتى جزء من عشرة مليارات، مما يجعلها أنجح نظرية فيزيائية على مر العصور. والسبب في أننا لا نرى تلك الظواهر المعجزة في حياتنا اليومية أننا مكونون من تريليونات الذرات، وأن تلك الظواهر، بشكل أو بآخر، تعادل بعضها.

## تحريك ذرات منفردة

كان ريتشارد فينمان يحلم بذلك اليوم الذي يتمكن فيه الفيزيائي من تصنيع أي جزيء، ذرة بذرة. وقد كان هذا الحلم يبدو مستحيلاً في عام 1959، لكن جزءاً منه صار الآن حقيقة واقعة.

ولقد أتيت لي فرصة أن أشهد ذلك عن قرب، عندما قمت بزيارة لمركز أبحاث آي بي إم ألميدن IBM Almaden Research Center في سان جوزيه بولاية كاليفورنيا. فهناك شاهدت آلة رائعة، وهي المجهر النفقي الماسح scanning tunneling microscope الذي يتيح للعلماء مشاهدة كل ذرة على حدة والتلاعب بها. وقد اخترع هذا الجهاز جيرد بينينج Gerd Binnig وهاينريتش رورر Heinrich Rohrer من آي بي إم، ونالا عليه جائزة نوبل عام 1986. (أذكر أنني عندما كنت طفلاً، كان معلمي يخبرني بأنني لن أكون قادراً أبداً على مشاهدة الذرات. فهي أصغر من أن يمكننا رؤيتها على حد قوله. وفي ذلك الوقت، كنت قد قررت بالفعل أن أصبح عالم ذرة عندما أكبر. فصدمت بعد أن أدركت أنني من الممكن أن أقضي ما تبقى من عمري في دراسة شيء لن أكون قادراً على رؤيته رأي العين. لكن اليوم، لم يعد في إمكاننا مشاهدة الذرات وحسب، وإنما صار بإمكاننا أيضاً اللعب بها، مستخدمين الملاقيط الذرية).

والمجهر النفقي الماسح هذا ليس مجهراً، في واقع الأمر، على الإطلاق. إنه أشبه بفونوجراف عتيق. فهناك إبرة دقيقة (ذات طرف لا يزيد قطره عن قطر ذرة واحدة) تمر ببطء فوق المادة التي يتم تحليلها، فيسري تيار كهربائي ضعيف من الإبرة، عبر المادة، إلى قاعدة الجهاز. وأثناء مرور الإبرة فوق الجسم، يتغير التيار الكهربائي بدرجة طفيفة في كل مرة يمر فيها فوق إحدى الذرات. وبعد عدة مرات، تطبع الآلة الشكل المذهل للذرة نفسها. وباستخدام إبرة مطابقة لها في الشكل، يصبح المجهر بعد ذلك قادراً ليس فقط على تسجيل تلك الذرات وإنما على تحريكها أيضاً. وبهذه

الطريقة، يمكن للمرء أن يتهجى الأحرف، مثل الأحرف الأولى آي بي إم، وفي الحقيقة يمكنه تصميم آلات بدائية مصنعة من ذرات.

(هناك ابتكار آخر ظهر حديثاً، ألا وهو: مجهر القوة الذرية atomic force microscope الذي يمكنه أن يقدم لنا صوراً مذهلة ثلاثية الأبعاد لمصفوفات من الذرات. ويستعين هذا المجهر أيضاً بإبرة ذات سن بالغ الصغر لكنه يطلق شعاعاً من الليزر. وأثناء مرورها فوق المادة المطلوب دراستها، تهتز الإبرة، ويتم تسجيل هذه الحركة بواسطة صورة شعاع الليزر).

لقد اكتشفت أن تحريك الذرات المنفردة أمر غاية في البساطة، عندما جلست أمام شاشة كمبيوتر أنظر إلى مجموعة من الكرات البيضاء، كل منها تشبه كرة بنج بونج قطرها حوالي بوصة واحدة. وفي الواقع، كانت كل كرة عبارة عن ذرة واحدة. ثم وضعت المؤشر فوق إحدى الذرات وحركتها إلى موضع آخر، ثم ضغطت على أحد الأزرار الذي قام بعد ذلك بتنشيط الإبرة كي تحرك الذرة. وقد أعاد المجهر مسح المادة، وتغيرت الشاشة لتبين أن الكرة قد انتقلت إلى الموضع الذي أردت نقلها إليه بكل دقة.

ولم تستغرق العملية برمتها أكثر من دقيقة واحدة لنقل كل ذرة إلى أي موضع أردت أن أنقلها إليه. وفي الواقع، اكتشفت أنه صار بإمكانني بالفعل، في غضون ثلاثين دقيقة تقريباً، تهجي بعض الحروف على الشاشة المصنوعة من ذرات منفردة. وخلال ساعة واحدة، تمكنت من صنع أشكال أكثر تعقيداً تضم عشر ذرات أو نحو ذلك.

وكان علي أن أتعافى من الصدمة التي انتابتنى بعدما تبين لي أنني بالفعل قد قمت بتحريك ذرات منفردة من مواضعها، وهو أمر كان يعد مستحيلاً في يوم من الأيام.

## الميمز والجسيمات النانوية

على الرغم من أن تكنولوجيا النانو ما تزال في مرحلة الطفولة المبكرة، فإنها خلقت مع ذلك صناعة تجارية واعدة في مجال الطلاء الكيميائي. فعن طريق رش طبقة رقيقة من المواد الكيميائية، لا يتجاوز سمكها بضعة جزئيات، فوق أحد المنتجات التجارية، يمكن للمرء أن يجعله أكثر مقاومة للصدأ أو أن يغير من خصائصه البصرية. ومن التطبيقات التجارية الأخرى اليوم أيضاً الملابس المقاومة للبقع، وشاشات الحاسوب المحسنة، وأدوات قطع المعادن التي صارت أقوى من ذي قبل، والطلاء المقاوم للخدش. وخلال السنوات المقبلة، سوف يباع المزيد والمزيد من المنتجات التجارية المبتكرة التي تطلى بطلاء ميكروني يحسن من أدائها.

إن تكنولوجيا النانو ما تزال، عموماً، علماً حديث السن للغاية. غير أن أحد جوانب هذه التكنولوجيا بدأ الآن بالفعل في التأثير على حياة البشر جميعاً، وأثمر عن صناعة عالمية تبلغ قيمتها مبلغاً هائلاً قدره 40 مليار دولار - وهي صناعة النظم الميكروكهروميكانيكية microelectromechanical systems (المعروفة اختصاراً بـ (الميمز)<sup>(1)</sup> MEMS) - وتضم كل شيء بدءاً من خراطيش أحبار الطباعة النفثة، ومستشعرات وسائد الأمان الهوائية المستخدمة في السيارات، وشاشات عرض الجايروسكوبات

(1) الميمز MEMS: اختصار لمصطلح microelectromechanical systems أو (النظم الكهروميكانيكية). وتتكون هذه النظم من مكونات يتراوح حجمها بين 1 و 100 ميكرومتر. في حين تتراوح أجهزة الميمز عموماً في حجمها بين 20 ميكرومتراً (20 جزءاً من المليون من المتر) وبين ملم. وعادة ما تتألف من وحدة مركزية لمعالجة البيانات والمعالجات الدقيقة والعديد من المكونات التي تكون وظيفتها التفاعل مع الخارج، مثل المتحسسات المايكروية. (الترجم)



المستخدمة في السيارات والطائرات. والمميز عبارة عن أجهزة دقيقة الحجم تبلغ من الصغر حداً ييسر تركيبها فوق طرف إبرة. وهي تصنع باستخدام تكنولوجيا الحفر etching المستخدمة في صناعة أجهزة الحاسب ذاتها. فبدلاً من حفر الترانزستورات، يقوم المهندسون بحفر المكونات الميكانيكية الدقيقة، ليصنعوا بذلك أجزاءً ميكانيكية بالغة الصغر تحتاج إلى مجهر كي تراها.

وقد صنع العلماء نسخة ذرية من العداد الصيني، ذلك الجهاز الآسيوي المحترم المستخدم في إجراء الحسابات وتعليم الحساب، الذي يتكون من عدة أعمدة رأسية من الأسلاك التي تحتوي على حبات خرز خشبية. ففي عام 2000، صنع علماء معمل أبحاث آي بي إم بزيورخ نسخة ذرية الحجم من ذلك العداد بواسطة ذرات منفردة باستخدام مجهر ماسح. وبدلاً من حبات الخرز الخشبية التي تتحرك لأعلى ولأسفل على طول الأسلاك العمودية، استخدم العداد الذري كرات بوكي، وهي عبارة عن ذرات كربونية مرتبة بحيث تشكل جزيئاً على شكل كرة قدم، قطرها أصغر خمسة آلاف مرة من سمك شعرة الإنسان.

وفي كورنيل Cornell، وصل الأمر بالعلماء إلى صنع جيتار ذري الحجم؛ له ستة أوتار، كل وتر منها عرضه لا يزيد عن 100 ذرة فقط. وإذا وضعت تلك الجيتارات بجوار بعضها بحيث تتلامس أطرافها، لأمكن وضع عشرين منها داخل شعرة إنسان. وبالطبع، فإن الجيتار حقيقي، وأوتاره حقيقية يمكن العزف عليها (إلا أن تردد نغمة الجيتار الذري عالٍ للغاية بحيث لا يمكن للأذن البشرية أن تسمعها).

لكن أكثر التطبيقات العملية انتشاراً لهذه التكنولوجيا تمت في مجال وسادات الأمان الهوائية التي تحتوي على مقاييس سرعة ميكروكهروميكانيكية دقيقة يمكنها استشعار الفرملة المفاجئة للسيارة. ويتكون مقياس السرعة الميكروكهروميكانيكي من كرة مجهرية الحجم متصلة بزنبرك أو رافعة. وعندما تضغط دواسة الفرامل بقوة، يقوم الإبطاء المفاجئ للسرعة بهز الكرة بعنف، فتتسبب هذه الحركة في صنع شحنة كهربائية بالغة الصغر. وهذه الشحنة تستثير بعد ذلك انفجاراً كيميائياً يطلق كميات كبيرة من غاز النيتروجين خلال 25/1 من الثانية. وقد أنقذت هذه التقنية بالفعل أرواح آلاف البشر.

# المستقبل القريب (من الوقت الحاضر حتى عام 2030)

## ماكينات نانوية داخل أجسامنا

في المستقبل القريب، سيكون علينا أن نتوقع ظهور أنواع جديدة من أجهزة النانو التي قد تحدث ثورة في مجال الطب، مثل الماكينات النانوية التي تسير مع مجرى الدم. ولعلنا نتذكر فيلم (رحلة عجيبة) Fantastic Voyage الذي تم فيه تصغير طاقم من العلماء مع سفينتهم إلى حجم خلية دم حمراء، ليخوضوا رحلة عبر مجرى الدم ومخ أحد المرضى، فيواجهون سلسلة من الأخطار المروعة داخل الجسم. إن أحد أهداف تكنولوجيا النانو هو خلق صيادين جزيئيين يقتربون جدا من خلايا السرطان ويدمرونها وحدها، تاركين الخلايا الطبيعية سليمة. ولطالما حلم كُتّاب الخيال العلمي بمركبة جزيئية تسبح داخل الدم وتبحث بشكل دائم عن خلايا السرطان وتدمرها. غير أن النقاد اعتبروا هذا الأمر ذات يوم ضربا من المستحيل، أو حلم يقظة لكتاب الخيال.

لكن جزءا من ذلك الحلم يتحقق اليوم. ففي عام 1992، ابتكر جيروم شينتاغ Jerome Schentag من جامعة بافالو University at Buffalo حبة دواء ذكية - تحدثنا عنها في موضع سابق - عبارة عن أداة دقيقة الحجم، في حجم الحبة التي تبتلعها، يمكن تتبعها إلكترونيا. ويمكن بعد ذلك إصدار التوجيهات إليها، بحيث تقوم بإيصال العقاقير إلى الموضع الصحيح.

وقد تم صنع حبات ذكية تحتوي على كاميرات تليفزيونية لتصوير أعضاء الجسم من الداخل حيث تهبط إلى المعدة والأمعاء. ومن الممكن استخدام المغناطيسات في توجيهها. وبهذه الطريقة، يمكن للجهاز القيام بالبحث عن الأورام tumors والسلائل المخاطية polyps. وفي المستقبل، قد يكون من الممكن إجراء جراحة صغرى عبر تلك الحبات الذكية، واستئصال أية عيوب، وأخذ عينات من الأنسجة من الداخل دون الحاجة لشق الجلد. وهناك جهاز أصغر بكثير من هذا، وهو جسيم النانو nanoparticle. وهذا الجهاز عبارة عن جزيء يمكنه إيصال العقاقير المقاومة للسرطان إلى هدفها المحدد، وهو ما يمكن أن يحدث ثورة في علاج السرطان. ويمكن مقارنة تلك الجسيمات النانوية بالقبلة الذكية الجزيئية المصممة لتضطمد بهدف محدد وهي محملة بشحنة كيميائية متفجرة، فتقلص بشكل كبير من الأضرار الجانبية التي قد تحدث. ففي حين تصيب القبلة الغيبة كل شيء، بما في ذلك الخلايا السليمة، فإن القبلة الذكية انتقائية لا تصيب سوى الخلايا السرطانية دون غيرها.

ولا شك أن أي شخص تعرض من قبل للآثار الجانبية المروعة للعلاج الكيماوي سوف يتفهم القدرة الهائلة لجسيمات النانو تلك على الإقلال من معاناة الإنسان. إن العلاج الكيماوي يعمل عن طريق غسل سائر الجسد دون تمييز بسموم فتاكة، فيقتل خلايا السرطان بكفاءة تزيد قليلا عن كفاءته في التعامل مع الخلايا السليمة. وغالبا تكون الأضرار الجانبية الناتجة عن العلاج الكيماوي واسعة الانتشار. أما الآثار الجانبية - ومنها الشعور بالغثيان، وسقوط الشعر، والشعور بالوهن... إلخ - فإنها تكون

من الشدة لدرجة أن بعض مرضى السرطان يفضلون الموت على تعريض أنفسهم لهذا العذاب.

وقد تغير جسيمات النانو كل ذلك. فالعقاقير، مثل عقاقير العلاج الكيميائي، سوف توضع داخل جزيء مصنوع على شكل كبسولة. ثم يسمح بعد ذلك لجسيم النانو بالدوران مع مجرى الدم، إلى أن يعثر على مقصده المحدد، وهناك يطلق العقاقير التي يحملها.

وأساس تلك الجسيمات النانوية يكمن في حجمها الذي يتراوح بين 10 و100 نانومتر، وهذا حجم كبير للغاية يجعلها غير قادرة على اختراق خلية الدم. وبهذا ترتد جسيمات النانو من سطح خلايا الدم السليمة دون أن تلحق بها أذى. لكن خلايا السرطان أمرها مختلف، فجدرانها الخلوية معرجة وبها مسام كبيرة غير منتظمة. وبذلك تتمكن جسيمات النانو من الدخول بحرية إلى خلايا السرطان وإيصال عقاقيرها، مع ترك الأنسجة السليمة دون أن يمسها سوء. وبهذا لا يحتاج الأطباء إلى أنظمة توجيه معقدة من أجل قيادة جسيمات النانو نحو هدفها؛ إنها سوف تتجمع بطريقة طبيعية في أنواع محددة من الأورام السرطانية.

وتكمن الروعة هنا في عدم الحاجة لاستخدام أساليب معقدة، أو تنطوي على خطورة، قد تكون لها آثار جانبية. فتلك الجسيمات النانوية تتمتع ببساطة بالحجم الملائم، فهي من الكبر بحيث لا يمكنها مهاجمة الخلايا الطبيعية، لكنها ذات حجم مناسب يمكنها من النفاذ داخل خلايا السرطان.

وهناك مثال آخر يتمثل في الجسيمات النانوية التي صنعها علماء

مؤسسة (بايند للعلوم الحيوية) Bind Biosciences بجامعة كامبريدج في ماساتشوستس. وتلك الجسيمات النانوية مصنوعة من أحماض يمكنها الاحتفاظ بالعقاقير داخل شبكة جزيئية (حمض البولي لاكتيك وحمض كوبولي لاكتيك/حمض الجليكوليك)، وهو ما يصنع شحنة متفجرة من الجسيم النانوي. وتكون منظومة التوجيه لجسيم النانو عبارة عن ببتيدات تغلف الجسيم وتلتحم تحديدا بالخلية المستهدفة.

والأمر الرائع بحق في هذا العمل أن تلك الجسيمات النانوية تتشكل بذاتها، دون حاجة إلى مصانع معقدة أو منشآت تصنيع كيميائي. فتُخلط الكيماويات المتنوعة معا ببطء، بالترتيب المناسب، في ظل ظروف شديدة الانضباط ودرجات عالية من التحكم، فتقوم جسيمات النانو بتجميع نفسها بنفسها.

يقول أوميد فاروقهزاد Omid Farokhzad الذي يعمل في بايند، وهو فيزيائي بكلية طب هارفارد Harvard Medical School: (نظر الآن التجميع الذاتي لا يحتاج إلى خطوات كيميائية متعددة معقدة، تصنع الجسيمات بسهولة شديدة... ويمكننا صنعها على نطاق الكيلوجرامات، وهو أمر لم يسبقنا إليه أحد من قبل). وقد برهنت تلك الجسيمات النانوية بالفعل على قيمتها بوصفها علاجا ضد أورام سرطان البروستاتا والثدي والرئة لدى الفئران. وباستخدام صبغات ملونة، يمكن للمرء أن يتبين أن تلك الجسيمات النانوية تتجمع في العضو المستهدف، مطلقة شحنتها المتفجرة بالأسلوب المطلوب. وسوف تبدأ التجارب الإكلينيكية على مرضى من البشر في غضون بضعة سنوات.

## القضاء على خلايا السرطان

لا تكتفي جسيمات النانو بالبحث عن خلايا السرطان وإيصال الكيماويات إليها لقتلها، وإنما قد تكون قادرة بالفعل على قتلها في الحال. والقاعدة التي يقوم عليها هذا الأمر بسيطة للغاية، إذ يمكن لتلك الجسيمات أن تمتص الضوء بتردد معين. وبتسليط شعاع من الليزر عليها، ترتفع درجة حرارة تلك الجسيمات، أو تهتز، فتدمر أي خلية سرطانية مجاورة بتمزيق جدرانها الخلوية. فالأساس هنا إذن هو جعل تلك الجسيمات النانوية تصل لأقرب ما يمكن من الخلايا السرطانية.

وقد طورت عدة مجموعات علمية بالفعل نماذج مبدئية من ذلك الابتكار. فالعلماء في معمل أرجون القومي Argonne National Laboratory وجامعة شيكاغو University of Chicago قاموا بتخليق جسيمات نانوية من ثاني أكسيد التيتانيوم (وهو مادة كيميائية تستخدم عادةً في صنع الكريمات الواقية من أشعة الشمس). وقد اكتشفت هذه المجموعة أن باستطاعتهم لحام تلك الجسيمات بجسم مضاد Antibody يقوم بالبحث بطريقة طبيعية عن خلايا سرطانية معينة تسمى خلايا الجلايوبلاستوما متعددة الأشكال (GBM glioblastoma multiforme) (الجلايوبلاستوما ورم أرومي دقي). وبهذا يتم حمل تلك الجسيمات النانوية، على ذلك الجسم المضاد، إلى خلايا السرطان. وبعدها، يتم إشعال ضوء أبيض متوهج لمدة خمس دقائق، فيقوم بتسخين الخلايا السرطانية، ومن ثم قتلها. وقد بينت الدراسات أن 80 في المئة من الخلايا السرطانية قد تم تدميرها بهذه الطريقة.

كذلك ابتكر هؤلاء العلماء أسلوباً آخر لقتل خلايا السرطان. فقد صنعوا أقراصاً مغنطة بالغة الصغر يمكنها أن تهتز بعنف. وبمجرد توجيه تلك الأقراص نحو خلايا السرطان، يمكن إمرار مجال مغناطيسي خارجي صغير فوقها، مما يجعلها تهتز فتمزق جدران خلايا السرطان. وفي الاختبارات التي أجريت في هذا الشأن، تم قتل 90 في المئة من خلايا السرطان بعد مرور عشر دقائق فقط من بدء الاهتزاز.

ولم تأت تلك النتيجة بالمصادفة. فالعلماء في جامعة كاليفورنيا بسانتا كروز University of California at Santa Cruz ابتكروا نظاماً مشابهاً يستخدم جسيمات النانو المصنوعة من الذهب، التي لا يزيد قطرها عن 20 إلى 70 نانومتراً، ولا يزيد سمك أي منها عن بضعة ذرات، المرتبة على هيئة كرة. وقد استخدم العلماء بيتيدا معيناً معروف أنه يجذب بشكل خاص لخلايا سرطان الجلد. وقد جعل هذا البيتيدا يلتحم بجسيمات النانو الذهبية التي حملت بعد ذلك نحو خلايا سرطان جلد لدى فئران تجارب. وبإضاءة شعاع من أشعة الليزر تحت الحمراء، تمكنت تلك الجسيمات الذهبية من تدمير خلايا الأورام عن طريق تسخينها لدرجة حرارة مرتفعة. وفي هذا الصدد، يقول جين زانج Jin Zhang، أحد الباحثين في هذا المجال: (الأمر في الأساس أشبه بوضع خلية السرطان في ماء ساخن، ثم غليها حتى الموت. وكلما ارتفعت درجة الحرارة التي تولدها كرات النانو المعدنية، كان ذلك أفضل).

إذن في المستقبل، سوف تتمكن تكنولوجيا النانو من اكتشاف مستعمرات السرطان قبل فترة تتراوح بين سنوات وعقود من تحولها إلى



أورام. وسيكون من الممكن استخدام جسيمات النانو التي تسري مع مجرى الدم في تدمير تلك الخلايا. وستستغل العلوم الأساسية التي يتم وضع مبادئها في وقتنا الحالي في هذا الأمر.

## سيارات نانوية في دماغنا

هناك خطوة تتجاوز ابتكار الجسيم النانو، تتمثل في السيارة النانو، وهي عبارة عن جهاز يمكن بالفعل توجيهه أثناء سيره داخل الجسم. ففي حين يسمح لجسيم النانو بالسريان في حرية مع مجرى الدم، ستكون تلك السيارات النانو تشبه ذكور النحل التي تتحرك بالريموت كنترول والتي يمكن توجيهها وقيادتها.

وقد قام جيمس تور James Tour وزملاؤه بجامعة رايس Rice University بصنع تلك السيارة النانو. لكن بدلاً من صنع عجالات لها، جعلت لها أربع كرات بوكي. ومن بين الأهداف المستقبلية لهذا البحث تصميم سيارة جزيئية يمكنها دفع روبوت بالغ الضالة في جميع أنحاء مجرى الدم، ليقضي على خلايا السرطان كلما صادفها في طريقه، أو لتوصيل عقاقير تنقذ حياة الإنسان إلى مواضع معينة بالجسم بدقة بالغة.

غير أن هناك مشكلة واحدة في السيارة الجزيئية، ألا وهي: عدم وجود محرك لها. لقد صنع العلماء ماكينات جزيئية أكثر تعقيداً من ذلك، لكن صنع مصدر طاقة جزيئي ظل واحداً من أحجار العثرة الرئيسة. وعلى أية حال، فإن الطبيعة قد وفرت الحل لهذه المشكلة باستخدام جزيء أدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP adenosine triphosphate) باعتباره

مصدرا للطاقة. وطاقة الأدينوزين ثلاثي الفوسفات هي التي تجعل الحياة ممكنة، فهي تغذي حركاتنا العضلية في كل ثانية من حياتنا. وهذه الطاقة الموجودة في الأدينوزين ثلاثي الفوسفات مخزنة داخل رابطة ذرية تربط بين ذراته. لكن إيجاد بديل اصطناعي كان أمرا بالغ الصعوبة.

وقد عثر توماس مالوك Thomas Mallouk وأيوسمان سن Ayusman Sen من جامعة ولاية بنسلفانيا Pennsylvania State University على حل محتمل لهذه المشكلة. فقد صنعوا سيارة نانو يمكنها بالفعل التحرك بسرعة عشرات الميكرونات في الثانية، وهي سرعة معظم أنواع البكتيريا. (صنعا في البداية قضيبا نانويا مصنوعا من الذهب والبلاطين في حجم خلية بكتيرية واحدة، ثم وضعوا هذا القضيب في خليط من الماء وبيروكسيد الهيدروجين، مما صنع تفاعلا كيميائيا عند كل من طرفي القضيب جعل البروتونات تتحرك من أحد طرفي القضيب نحو الطرف الآخر. ولما كانت البروتونات تندفع عكس اتجاه الشحنات الكهربائية لجزيء الماء، فقد تسبب هذا في دفع القضيب النانوي للأمام. ويستمر القضيب في الحركة للأمام طالما ظل بيروكسيد الهيدروجين في الماء).

وتوجيه تلك القضبان النانوية ممكن أيضا باستخدام خاصية المغناطيسية. فقد زرع العلماء أقراصا من النيكل داخل تلك القضبان النانوية، بحيث صارت تعمل كإبر البوصلة. وبتحريك مغناطيس الملاحة العادي بالقرب من تلك القضبان، يمكن توجيهها في أي اتجاه.

وهناك طريقة أخرى لتوجيه آلة جزيئية، وهي استخدام كشاف إضاءة. فالضوء يمكنه تقسيم الجزيئات إلى أيونات موجبة وأخرى سالبة. وينتشر

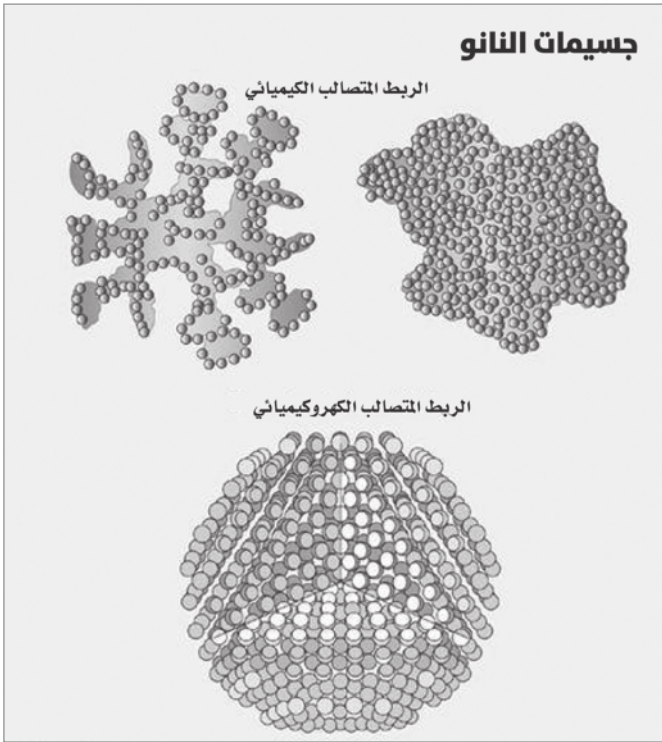
هذان النوعان من الأيونات خلال الوسط بسرعات متفاوتة، وهو ما يخلق مجالا كهربيا. وبعد ذلك، يتم جذب الآلات الجزيئية بواسطة تلك المجالات الكهربائية. وهكذا، يمكن توجيه الآلات الجزيئية في اتجاه معين بتسليط وميض الضوء.

لقد حضرت بيانا عمليا لهذا عند زيارتي لمعمل سيلفان مارتل Sylvain Martel في بوليتكنيك مونتريال Polytechnic Montreal في كندا. وكانت فكرته تعتمد على استغلال ذبول البكتريا العادية في دفع سفينة ضئيلة الحجم للأمام مع مجرى الدم. وحتى الآن، يعجز العلماء عن تصنيع محرك بحجم الذرة، مثل ذلك الموجود في ذبول البكتريا. لذا تساءل مارتل في نفسه: إذا كانت تكنولوجيا النانو قد عجزت عن صنع تلك الذبول بالغة الصغر، فلماذا لا نستغل ذبول البكتريا الحية؟

وقد قام مارتل في البداية بصنع رقاقة كمبيوتر أصغر حجما من النقطة التي تنتهي بها هذه الجملة. ثم استنبت مزرعة من البكتريا. وتمكن من وضع حوالي ثمان من تلك البكتريا خلف السفينة، بحيث صارت تعمل وكأنها محرك دفع لتدفع الرقاقة للأمام. ولما كانت تلك البكتريا تتمتع بخاصية مغناطيسية طفيفة، فقد تمكن مارتل من استعمال قطع مغناطيس خارجية في توجيهها إلى أي مكان يشاء.

وقد أتيت لي فرصة أن أوجه تلك الرقاقات المدفوعة بالبكتريا بنفسى. فكنت أنظر في المجهر، وأمكنني أن أشاهد رقاقة كمبيوتر بالغة الضالة وهي تدفع بواسطة عدة خلايا بكتيرية. وعندما ضغطت على أحد الأزرار، بدأ مغناطيس يعمل، فتحركت الرقاقة إلى اليمين. وعندما تركت

الزر، توقفت الرقاقة عن السير، ثم أخذت تتحرك بصورة عشوائية. وبهذه الطريقة، أمكنني بالفعل توجيه حركة الرقاقة. وأثناء قيامي بذلك، أدركت أنه ذات يوم قد يصبح الطبيب قادراً على الضغط على زر مماثل، لكن هذه المرة من أجل توجيه روبوت نانو عبر أوردة المريض.



سوف تسري روبونات جزيئية في مجرى دمائنا، لتعرف على خلايا السرطان ومسببات الأمراض وتقضي عليها، ويمكنها أن تصنع ثورة في عالم الطب.

ويمكن للمرء أن يتخيل مستقبلا تحل فيه الماكينات الجزيئية محل الجراحة تماما، حيث تتحرك تلك الماكينات عبر مجرى الدم، توجهها قطع مغناطيس، نحو العضو المريض، حيث تطلق عقاقير دوائية أو تجري جراحة. ومن شأن هذا أن يجعل شق الجلد بالمشروط أمرا من الماضي. أو يمكن للمغناطيس أن يوجه تلك الماكينات النانوية نحو القلب من أجل إزالة انسداد الشرايين.

## رقاقات من الحمض النووي

كما ذكرنا في الفصل الثالث، سوف نملك في المستقبل أجهزة استشعار بالغة الصغر، داخل ملابسنا وأجسامنا وحماماتنا، تقوم باستمرار بمراقبة صحتنا، واكتشاف الأمراض قبل أن تصبح خطرا يهددنا بسنوات. وأساس هذا الأمر يتمثل في رقاقة الحمض النووي (دي إن إيه DNA) التي تبشرنا بوجود (معمل كامل على رقاقة صغيرة). ومثل الترايكورد الذي رأيناه في فيلم (رحلة النجوم) Star Trek، سوف تعطينا تلك المستشعرات الدقيقة تحليلا طبيا في خلال دقائق.

ومعلوم أن المسح الطبي الذي يجري اليوم من أجل اكتشاف السرطان عملية مضيئة باهظة التكلفة تستغرق وقتا طويلاً، كثيرا ما يصل لأسابيع. وهذا الأمر يحد بشدة من عدد تحليلات السرطان التي يمكن إجراؤها. لكن تكنولوجيا الحاسوب تعمل على تغيير كل ذلك. فالعلماء توصلوا بالفعل إلى تصنيع أجهزة يمكنها بسرعة وبتكلفة زهيدة اكتشاف مرض السرطان، عن طريق البحث عن دلالات حيوية معينة تنتجها خلايا السرطان.

وباستخدام التكنولوجيا ذاتها المستخدمة في الحفر على رقاقات الحاسوب، يمكن الحفر على رقاقة كمبيوتر توجد عليها مواضع مجهرية يمكنها اكتشاف سلاسل محددة للحمض النووي أو الخلايا السرطانية.

وباستخدام تقنية حفر الترانزستور، تزرع شظايا من الحمض النووي داخل الرقاقة. وعند تمرير سوائل فوق الرقاقة، يمكن لتلك الشظايا من الحمض أن تلتحم بسلاسل جينية محددة. وبعدها، يمكن للمرء بسرعة، باستخدام شعاع ليزر، مسح الموضع بالكامل والتعرف على الجينات. وبهذه الطريقة، أصبح من غير الضروري قراءة الجينات الوراثية واحدا تلو الآخر، مثلما كان يحدث من قبل، وإنما يمكن إجراء مسح كامل لها بالآلاف في لمح البصر.

وقد أنتجت شركة (أفيميتريكس) Affymetrix في عام 1997 أول رقاقة حمض نووي على المستوى التجاري يمكنها سريعا تحليل 50000 تسلسل للحمض النووي. وبحلول عام 2000، صار هناك 400000 مسبار للحمض النووي متوفرة مقابل بضعة آلاف من الدولارات. وفي عام 2002، انخفضت الأسعار إلى 200 دولار يمكن للمرء أن يشتري بها رقاقات أكثر قوة. وما تزال الأسعار في انحدار نتيجة لقانون مور، حتى صارت لا تزيد على حفنة قليلة من الدولارات.

وقد صرحت شانا كيللي Shana Kelley، الأستاذ بكلية طب جامعة تورنتو University of Toronto، قائلة: (اليوم، يحتاج الأمر إلى غرفة مليئة بأجهزة الحاسوب من أجل تقييم عينة إكلينيكية من المؤشرات الحيوية الدالة على الإصابة بالسرطان، كما لا تتوفر النتائج سريعا. لكن فريقنا

البحشي تمكن من قياس الجزيئات الحيوية على رقاقة إلكترونية بحجم طرف الإصبع). وتحلم كيلبي كذلك باليوم الذي سوف يتقلص فيه حجم كل معدات تحليل هذه الرقاقة ليصير أقرب إلى حجم الهاتف المحمول. وهذا العمل المحمول على رقاقة سوف يعني أن باستطاعتنا تقليص حجم المعمل الكيماوي الموجود في مستشفى أو جامعة إلى حجم رقاقة واحدة يمكننا استعمالها داخل حماماتنا.

ومن ناحيتهم، صنع الأطباء بمستشفى ماساتشوستس العام Massachusetts General Hospital رقاقاتهم الحيوية الخاصة، المصممة حسب طلبهم، التي تزيد قدرتها 100 ضعف عن أي من تلك الموجودة بالأسواق في وقتنا الراهن. ومعلوم أن خلايا الأورام التي تسري في مجرى الدم تبلغ نسبتها أقل من خلية واحدة في كل مليون خلية داخل دمائنا، لكن تلك الخلايا السرطانية تقتلنا في نهاية المطاف إذا تكاثرت. وهذه الرقاقة الحيوية الجديدة تملك من الحساسية ما يجعلها تكتشف الخلية السرطانية الواحدة من بين مليار خلية تسري في دمائنا. ونتيجة لذلك، ثبت أن هذه الرقاقة تكتشف خلايا سرطان الرئة والبروستاتا والبنكرياس والثدي والقولون والمستقيم، عن طريق تحليل عينة صغيرة من الدم في حجم ملعقة الشاي.

وتنحت تقنية الحفر القياسية رقاقات تحتوي على 78000 وتد مجهري (طول الواحد منها 100 ميكرون). وتحت المجهر الإلكتروني، تكون أشبه بغابة من الأوتاد المستديرة. كل وتد مغلف بجسم مضاد لجزيء التصاق الخلية الطلائية EpCAM الذي يوجد في العديد من أنواع الخلايا

السرطانية، لكنه غير موجود في الخلايا العادية. وجزء التصاق الخلية الطلائية هذا مهم جدا بالنسبة لخلايا السرطان من أجل الاتصال ببعضها بعضا حتى تصنع وربما. فإذا تم إمرار الدم عبر الرقاقة، تلتصق الخلايا السرطانية السارية في الدم بالأوتاد المستديرة. وفي التجارب الإكلينيكية، نجحت الرقاقة في اكتشاف حالات السرطان لدى 115 من إجمالي 116 مريضا.

ولا ريب أن تكاثر أعداد تلك المعامل المحمولة على رقاقات سوف يؤثر أيضا تأثيرا جذريا على تكلفة تشخيص المرض. ففي الوقت الحاضر، قد تبلغ تكلفة أخذ عينة من أنسجة مريض، أو إجراء تحليل كيميائي، عدة مئات من الدولارات، كما أنها قد تستغرق بضعة أسابيع لإتمامها. أما في المستقبل، فربما لا تزيد التكلفة عن بضعة بنسات، ولا يستغرق إجراؤها أكثر من بضع دقائق. وهذا من الممكن أن يحدث ثورة في إتاحة فرص إجراء تشخيصات مرض السرطان. ففي كل مرة سننظف فيها أسناننا بالفرشاة، سيكون من الممكن في هذه الأثناء إجراء فحص دقيق للعديد من الأمراض، من بينها السرطان.

وقد صنع ليروي هود Leroy Hood وزملاؤه بجامعة واشنطن University of Washington رقاقة عرضها حوالي أربعة سنتيمترات يمكنها إجراء تحليل يكشف عن وجود بروتينات معينة باستخدام قطرة دم واحدة. ومن المعروف أن البروتينات هي لبنات بناء الحياة، فعضلاتنا وجلودنا، وكذا الشعر والهرمونات والإنزيمات، جميعها مصنوعة من البروتينات. واكتشاف البروتينات الناتجة عن أمراض كالسرطان من الممكن أن يؤدي



إلى إيجاد منظومة إنذار مبكر للجسم. وفي الوقت الحاضر، لا تزيد تكلفة الرقاقة عن عشرة سنتات، ويمكنها التعرف على بروتين محدد خلال عشر دقائق، وبهذا تكون أكثر كفاءة بمقدار عدة ملايين من المرات من النظام السابق. ويحلم هود باليوم الذي تصير فيه هذه الرقاقة قادرة على إجراء تحليل سريع لمئات الآلاف من أنواع البروتين، فتنبهنا بذلك إلى طائفة واسعة من الأمراض قبل سنوات من تطورها إلى مرحلة الخطر.

## الأنابيب النانوية الكربونية

هناك مؤشر مسبق ينبئ بقدرات تكنولوجيا النانو، ألا وهو: الأنابيب النانوية الكربونية<sup>(1)</sup> carbon nanotubes. وهذه الأنابيب، من حيث المبدأ، أقوى من الفولاذ، كما يمكنها أيضا توصيل الكهرباء، لذا فإن أجهزة الحاسوب المصنوعة من الكربون صارت أمرا ممكنا. لكن رغم قوتها الهائلة، فإن هناك مشكلة واحدة تعوقها، ألا وهي: أنها يجب أن تكون في صورتها النقية، وأطول ألياف الكربون النقية لا يزيد طولها عن بضعة سنتيمترات. لكن ذات يوم، قد تُصنع أجهزة الحاسوب بأكملها من الأنابيب النانوية الكربونية، ومن غيرها من التركيبات الجزيئية. وتصنع كل واحدة من الأنابيب النانوية الكربونية من ذرات كربون

(1) الأنابيب النانوية الكربونية carbon nanotubes: متصلات كربونية ذات تركيبات نانوية أسطوانية الشكل. ولتلك الجزيئات الكربونية سمات جديدة تجعلها مفيدة في العديد من التطبيقات في مجال النانو تكنولوجي والإلكترونيات والبصريات، بالإضافة إلى العديد من المجالات الأخرى ذات الصلة بعلم المواد. كذلك هناك مجموعة أخرى من الاستخدامات المتوقعة لها في مجالات الهندسة المعمارية. كما أنه قد يكون لها بعض الاستخدامات في بناء الدروع الواقية للبدن، حيث إنها تُظهر قوة استثنائية، وخصائص كهربائية فريدة، كما أنها تعمل كموصلات جيدة للحرارة. (المترجم)

ملتحمة بحيث تصنع أنبوباً. تخيل سلك عشة الدجاج، حيث كل موضع اتصال فيه عبارة عن ذرة كربون. والآن، قم بلف سلك عشة الدجاج على شكل أنبوب، وسوف يصبح لديك الشكل الهندسي لأنبوب نانوي كربوني. وتتكون هذه الأنابيب في كل مرة يتكون فيها السناج العادي، لكن العلماء لم يدركوا من قبل أن ذرات الكربون يمكنها الالتحام معا بمثل هذه الطريقة المبتكرة.

وتعود الخصائص شبه الإعجازية التي تتصف بها الأنابيب النانوية الكربونية إلى تركيبها الذري. فعادةً، عندما تحلل قطعة صلبة من المادة، كالصخر أو الخشب، فأنت في واقع الأمر تحلل خليطاً هائلاً مؤلفاً من العديد من التركيبات المتداخلة معا. ومن السهل صنع كسور دقيقة داخل هذا الخليط، وهو الأمر الذي يجعله سهل الكسر. إذن، قوة المادة تعتمد على الشوائب الموجودة في تركيبها الجزيئي. فمثلاً، الجرافيت مصنوع من الكربون النقي، لكنه شديد الليونة لأنه مصنوع من طبقات يمكنها الانزلاق فوق بعضها بعضاً. وكل طبقة تتكون من ذرات كربون، كل منها متحد مع ثلاث ذرات كربون أخرى.

والماس أيضاً مصنوع من كربون نقي، لكنه أقوى معدن موجود في الطبيعة. وذلك أن ذرات الكربون الموجودة في الماس مرتبة في تركيب بلوري محكم ومتداخل، ليمنحه صلابة غير عادية. وبالمثل، تعود الخصائص المذهلة التي تتمتع بها الأنابيب النانوية الكربونية إلى تركيبها الذري المنتظم.

وقد شقت الأنابيب النانوية الكربونية طريقها بالفعل نحو دنيا الصناعة.

فبسبب خاصية التوصيل التي تتمتع بها، يمكن استخدامها في صنع كابلات لنقل مقادير هائلة من الطاقة الكهربائية. وبسبب قوتها، يمكن استخدامها في صنع مواد أكثر صلابة من (الكيفلار) Kevlar. ولعل أهم استخدام للكربون هو ذلك الذي سيكون في مجال صناعة أجهزة الحاسوب. فالكربون واحد من عدة مرشحين لخلافة السليكون الذي يعد الأساس الذي قامت عليه تكنولوجيا الحاسوب. وربما توقف مستقبل الاقتصاد العالمي في نهاية المطاف على هذا السؤال: ما الذي سيحل محل السليكون؟

## عصر ما بعد السليكون

كما ذكرنا سابقاً، لا يمكن لقانون مور، وهو واحد من الأسس التي قامت عليها ثورة المعلومات، أن يدوم إلى الأبد. ويمكننا القول: إن مستقبل اقتصاد العالم ومصير الأمم قد يعتمد في نهاية الأمر على الأمة التي ستطور بديلاً مناسباً للسليكون.

لكن، (متى سينهار قانون مور؟) إن هذا السؤال ما يزال يثير الرجة في أوصال الاقتصاد العالمي. وقد سُئل جوردون مور نفسه عام 2007 عما لو كان يعتقد أن ذلك القانون الشهير الذي أطلق عليه اسمه يمكن أن يظل صحيحاً للأبد أم لا. فكان رده: بالطبع لا، ثم تنبأ بأنه سينتهي خلال عشرة إلى خمسة عشر عاماً.

وقد توافق هذا التقدير المبدئي مع تقدير سابق قام به باولو جارجيني Paolo Gargini، وهو المسؤول عن جميع الأبحاث الخارجية بشركة إنتل

Intel. ولما كانت شركة إنتل هي التي تحدد إيقاع صناعة أشباه الموصلات بأكملها، فإن كل كلمة يتفوه بها جارجيني تصبح موضع تحليل متأن. ففي المؤتمر السنوي لأشباه الموصلات (سيميكون ويست) Semicon West الذي عقد عام 2004، قال جارجيني: (نرى أنه يمكننا الاستمرار في الاعتماد على قانون مور خلال الخمسة عشر إلى العشرين عاما المقبلة على الأقل).

وكانت الثورة الراهنة في مجال أجهزة الحاسوب المعتمدة على السليكون مدفوعة بحقيقة واحدة جوهرية، ألا وهي: قدرة الأشعة فوق البنفسجية على حفر ترانزستورات أصغر وأصغر فوق سطح رقاقة من السليكون. واليوم، يمكن أن تحمل رقاقة البنتيوم عدة مئات من الملايين من الترانزستورات فوق شريحة غاية في الرقة في حجم طرف الإصبع. ولما كان الطول الموجي للأشعة فوق البنفسجية يمكن أن يكون صغيرا، بحيث لا يتجاوز 10 نانومترات، فمن الممكن استخدام تقنيات الحفر في نحت مكونات لا يتجاوز عرض الواحد منها ثلاثين ذرة فحسب. غير أن هذه العملية لا يمكن أن تستمر إلى الأبد. فعاجلا أو آجلا، سوف تنهار المسألة لعدة أسباب.

السبب الأول؛ إن الحرارة المتولدة من الرقاقات القوية سوف تتسبب في النهاية في انصهارها. وكان أحد الحلول الساذجة أن نجعل الرقاقات مكمومة فوق بعضها بعضا، فنصنع رقاقة مكعبة الشكل. وهذا من شأنه أن يزيد من قدرة المعالجة للرقاقة لكن على حساب توليد المزيد من الحرارة. بل إن الحرارة المتولدة من الرقاقات المكعبة تكون من الشدة بحيث يمكنك

أن تقلي بيضة فوق سطحها. والمشكلة بسيطة: لا توجد مساحة سطح كافية فوق الرقاقة المكعبة تسمح بتبريدها. وبصفة عامة، إذا قمت بتمرير ماء بارد أو هواء فوق الرقاقة الساخنة، فإن التأثير المبرد يكون أكبر إذا كان هناك مزيد من الاتصال السطحي بالرقاقة. لكن إذا كانت الرقاقة مكعبة، فإن مساحة السطح عندئذ لا تكون كافية. على سبيل المثال، إذا أمكن مضاعفة حجم رقاقة مكعبة، فإن الحرارة التي ستولدها تتضاعف بمقدار ثماني مرات (لأن المكعب يحتوي على مكونات كهربية أكثر بمقدار ثماني مرات)، لكن مساحة سطحها لا تزيد إلا بمقدار أربعة أضعاف فقط. ويعني هذا أن الحرارة المتولدة في الرقاقة المكعبة سترتفع بمعدل أسرع من القدرة على تبريدها. وكلما كبر حجم الرقاقة المكعبة، كان تبريدها أكثر صعوبة. وهكذا، فإن الرقاقات المكعبة لن تقدم سوى حل جزئي مؤقت للمشكلة.

وقد اقترح البعض أن نستعين ببساطة بأشعة إكس (الأشعة السينية) كبديل للأشعة فوق البنفسجية في حفر الدوائر. وهذا الأمر من الممكن أن ينجح من حيث المبدأ، لأن أشعة إكس يمكن أن يكون طولها الموجي أصغر 100 مرة من الطول الموجي للأشعة فوق البنفسجية. لكن هناك عيبا مقابل ذلك. فمع الانتقال من استخدام الأشعة فوق البنفسجية إلى أشعة إكس، تزيد في الوقت نفسه طاقة الشعاع بمقدار 100 ضعف أو نحو ذلك. وهذا معناه أن الحفر بهذه الطريقة ربما يدمر الشريحة الرقيقة التي تحاول أن تحفر فوقها. ويمكن تشبيه الحفر باستخدام هذه الأشعة بمحاولة فنّان استخدام موقد لحام في صنع منحوتة رقيقة. ومن ثم، فإن الحفر بأشعة إكس يجب

أن يتم بأقصى درجات التحكم، لذا فإنه ليس سوى حل قصير الأجل. ثانياً؛ هناك مشكلة جذرية تفرضها نظرية الكم، ألا وهي: قاعدة انعدام اليقين التي تنص على أنه لا يمكنك أن تعلم على وجه اليقين موقع وسرعة أي ذرة أو جسيم. ورقاقة البنتيوم اليوم قد تكون عليها طبقة سمكها حوالي ثلاثين ذرة تقريباً. وبحلول عام 2020، من الممكن أن يبلغ عرض هذه الطبقة خمس ذرات، وبذلك لا يكون موضع الإلكترون بها مؤكداً، فيبدأ في التسرب في جميع أجزاء الطبقة، مما يتسبب في ماس كهربائي. ومن ثم، فإن هناك حداً تفرضه نظرية الكم على مدى صغر الحجم الذي يمكن أن يصل إليه ترانزستور مصنوع من السليكون.

وكما ذكرت من قبل، كنت ذات مرة واحداً من المحاضرين الأساسيين في مؤتمر كبير حضره 3000 من كبار مهندسي شركة مايكروسوفت في Microsoft مقر الشركة الرئيس في سياتل، حيث سلطت الضوء على مشكلة التباطؤ الذي يعتري قانون مور. وأكد لي هؤلاء المهندسون الذين يعدون صفوة المتخصصين في البرمجة أنهم بدءوا الآن يأخذون هذه المشكلة بجدية شديدة، وصارت المعالجة الموازية واحدة من أهم الحلول التي يفكرون فيها لزيادة قدرة أجهزة الحاسب على المعالجة. وأيسر سبيل لحل هذه المشكلة أن نوصل سلسلة من الرقاقات على التوازي بحيث تتم تجزئة مشكلة الحاسوب إلى أجزاء يعاد تجميعها بعد ذلك في نهاية الأمر.

والمعالجة الموازية واحدة من أسس كيفية عمل المخ. فلو أننا أجرينا مسحاً بالرنين المغناطيسي للمخ أثناء التفكير، فسنجد مناطق مختلفة من المخ تضيء معاً في آن واحد، بما يعني أن المخ يجزئ المهمة إلى قطع صغيرة،

ويعالج كل واحدة منها على حدة في الوقت عينه. ويفسر لنا هذا لماذا يمكن للعصبونات (الخلايا العصبية التي تنقل الرسائل الكهربائية بإيقاع شديد البطء بدرجة مضيئة يبلغ 200 ميل في الساعة) أن تتفوق في أدائها على جهاز كمبيوتر جبار، مع أن الرسائل تنتقل داخل الحاسوب بسرعة تقترب من سرعة الضوء. فما يفتقر إليه مخنا من حيث السرعة، يعوضه وأكثر بكثير بأداء مليارات العمليات الحسابية الصغيرة في آن واحد، ثم يقوم بجمعها معا بعد ذلك.

وتمثل صعوبة إجراء معالجة موازية في أن كل مشكلة يجب تجزئتها إلى أجزاء متعددة. ثم تتم بعد ذلك معالجة بواسطة رقاقات مختلفة، ثم يعاد تجميع المشكلة في النهاية. وقد يكون تنسيق تلك التجزئة أمراً بالغ التعقيد، وهو يعتمد تحديداً على كل مشكلة على حدة، مما يجعل التوصل إلى إجراء عام أمراً بالغ الصعوبة. والمخ البشري يقوم بذلك دون أن يبذل أدنى جهد، وقد احتاجت الطبيعة لملايين السنين لحل هذه المشكلة. أما مهندسو البرمجة فلم يكن أمامهم سوى عقد من السنين أو نحو ذلك.

## الترانزستورات الذرية

أحد البدائل المحتملة لرقاقات السليكون تلك الترانزستورات المصنوعة من الذرات المنفردة. فإذا كان سبب إخفاق ترانزستورات السليكون أن الأسلاك والطبقات في الرقاقة تتضاءل في الحجم وصولاً إلى مستوى الذرة، فلماذا إذن لا نبدأ من جديد ونبني حساباتنا على الذرات؟ وإحدى طرق تحقيق هذا استخدام الترانزستورات الجزيئية. فالترانزستور

عبارة عن مفتاح غلق وفتح يسمح لك بالسيطرة على سريان الكهرباء في الأسلاك. ومن الممكن استبدال ترانزستور السليكون بجزيء واحد مصنوع من مواد كيميائية مثل روتاكسين وبنزثيول. فعندما تتاح لك رؤية جزيء بنزثيول، سوف تجده أشبه بأنبوب طويل ذي (مقبض) أو صمام، مصنوع من ذرات عند منتصفه. وفي الأحوال العادية، تكون للكهرباء حرية السريان عبر الأنبوب، مما يجعله موصلاً جيداً للكهرباء. لكن من الممكن أيضاً إدارة (المقبض)، وهو ما يمنع سريان الكهرباء. وبهذه الطريقة، يؤدي الجزيء بأكمله وظيفة مفتاح يمكنه التحكم في سريان الكهرباء. ففي أحد الوضعين، يسمح المقبض بسريان الكهرباء، وهو ما يعبر عن الرقم (1). فإذا أدير المقبض، فإن الكهرباء تتوقف عن السريان، وهو ما يعبر عن الرقم (صفر). وهكذا، يمكن إرسال الرسائل الرقمية باستخدام الجزيئات.

والترانزستورات الجزيئية موجودة بالفعل. فقد أعلنت مؤسسات عدة أنها صنعت ترانزستورات مخلقة من جزيئات منفردة. لكن قبل أن تصير تلك الترانزستورات قابلة للتداول تجارياً، يجب أن يكون المرء قادراً على تشغيلها بطريقة صحيحة وإنتاجها بكميات تجارية.

ويأتي أحد المرشحين الواعدين لأداء دور الترانزستور الجزيئي من مادة تسمى الجرافين Graphene، وهي مادة تم عزلها لأول مرة من الجرافيت عام 2004 على يد كل من أندريه جيم Andre Geim وكوستيا نوفوسيلوف Kostya Novoselov، من جامعة مانشستر University of Manchester، اللذان فازا بجائزة نوبل عن هذا العمل. وتشبه تلك المادة طبقة واحدة



من الجرافيت. وعلى عكس الأنابيب النانوية الكربونية، التي هي عبارة عن صحائف من ذرات الكربون ملتفة على هيئة أنابيب طويلة رفيعة، فإن الجرافين عبارة عن صحيفة واحدة من الكربون، لا يزيد سمكها عن سمك ذرة واحدة. كذلك تمثل الجرافين حالة جديدة للمادة، لذا انقسم العلماء على أنفسهم فيما يتعلق بخصائصها المميزة، بما فيها القدرة على التوصيل الكهربائي. وقد علق نوفوسيلوف على ذلك قائلاً: (من وجهة النظر الفيزيائية، الجرافين هو منجم الذهب. ويمكن أن نظل ندرسه لعصور). (الجرافين أيضاً أقوى مادة تم اختبارها في تاريخ العلوم. فإذا وضعت فيلا فوق قلم رصاص، ووازنت القلم الرصاص فوق صحيفة من الجرافين، فإن الجرافين لن يتمزق).

وقد استخدمت مجموعة الباحثين بقيادة نوفوسيلوف تقنيات عادية تستخدم في صناعة أجهزة الحاسوب لنحت بعض من أصغر الترانزستورات التي صنعت عبر العصور. ويمكن لإشعاعات الإلكترونات الدقيقة أن تنحت قنوات غاية في الصغر داخل الجرافين، فتصنع بذلك أصغر ترانزستورات في العالم؛ سمكها ذرة واحدة وعرضها عشر ذرات. (في الوقت الراهن، يبلغ حجم أصغر الترانزستورات الجزيئية حوالي 30 نانومتراً. أما أصغر ترانزستورات صنعها نوفوسيلوف فحجمها أصغر ثلاثين مرة من ذلك).

وهذه الترانزستورات المصنوعة من الجرافين بالغة الصغر، فهي في الواقع ربما كانت تمثل الحد الأدنى لحجم الترانزستورات الجزيئية. ولو صغرت عن ذلك، لساد مبدأ انعدام اليقين، وتسربت الإلكترونات من

الترانزستور، مما يدمر خصائصه. يقول نوفوسيلوف: (إنها تقريبا أصغر ما يمكن الوصول إليه).

ورغم وجود عدد من المرشحين الواعدين للقيام بدور الترانزستورات الجزئية، فإن المشكلة الحقيقية تبدو في الظاهر أكثر بساطة: كيف تقوم بتوصيلها ببعضها وتجميعها في منتج قابل للتسويق التجاري. إذ إن صنع ترانزستور جزئي واحد لا يكفي. ومن المشهور عن الترانزستورات الجزئية أنه من الصعب التعامل معها، لأنها من الممكن أن تكون أقل سمكا بآلاف المرات من شعرة رأس الإنسان. ومن ثم، فإن التفكير في إنتاجها على نطاق تجاري يمثل كابوسا حقيقيا. ففي الوقت الراهن، لم تتوفر حتى الآن التقنية اللازمة لذلك.

وعلى سبيل المثال، الجرافين مادة حديثة لا يعرف العلماء كيف ينتجون منها كميات كبيرة. فليس باستطاعة العلماء أن ينتجوا سوى حوالي 1، 0 ملليمتر من الجرافين النقي، وهي كمية غاية في الضآلة لا تفي بالاستخدامات التجارية. وهناك أمل وحيد، وهو أن يتمكن الإنسان من العثور على عملية إنتاجية تقوم بتجميع الترانزستور الجزئي ذاتيا. ونحن نجد في الطبيعة أحيانا مجموعات من الجزئيات تتكثف في نمط دقيق، كما لو كان ذلك بفعل السحر. لكن حتى الآن لم يتمكن أحد من إعادة تخليق هذا السحر من جديد.

## حاسبات الكم

أكثر المقترحات طموحا استخدام حاسبات الكم التي تقوم بالفعل بالحساب باستخدام الذرات المنفردة نفسها. ويزعم البعض أن حاسبات

الكم هي أجهزة الحاسب النهائية، حيث إن الذرة أصغر وحدة من وحدات المادة يمكن للإنسان أن يحسب باستخدامها.

فالذرة تشبه النحلة الدوارة التي يلهو بها الأطفال. وفي الأحوال العادية، يمكنك تخزين معلومات في صورة رقمية فوق النحلات الدوارة، بتخصيص العدد (صفر) إذا كانت النحلة تدور لأعلى، أو (1) إذا كانت تدور لأسفل. فإذا عكست اتجاه دوران النحلة، فإنك بذلك تكون قد حولت الصفر إلى واحد وأجريت عملية حسابية.

لكن في عالم الكم العجيب، تدور الذرة بشكل أو بآخر لأعلى ولأسفل في آن واحد. (ففي دنيا الكم، يعد أمراً عادياً أن تتواجد في عدة أماكن في آن واحد). وبالتالي، فإن ذرة ما تحتوي على معلومات أكثر بكثير من صفر أو واحد. إن في استطاعتها وصف مزيج من أرقام الصفر والواحد. إذن، حاسبات الكم تستعمل (الكيوبت) <sup>(1)</sup> qubit بدلاً من (البت) <sup>(2)</sup> bit. وعلى سبيل المثال، من الممكن أن تدور لأعلى بنسبة 25 % ولأسفل بنسبة 75 %. وبهذه الطريقة، يمكن للذرة الدوارة اختزان معلومات أكثر بكثير من البت الواحد.

إن حاسبات الكم تملك من القدرات الهائلة ما جعل وكالة الاستخبارات المركزية الأمريكية تبحث استخدام قدراتها الهائلة في فك الشفرات.

(1) الكيوبت qubit: البت الكمي. (المترجم)

(2) البت bit: في عالم الحاسوب، يتم تخزين المعلومات ومعالجتها على شكل بتات bits؛ وبذلك يكون البت أصغر وحدة حاملة أو ناقلة لمعلومة أو لمعنى معين. وفي أجهزة الحاسب والمعالجات الرقمية، البت عبارة عن نبضة كهربائية، إما موجبة أو سالبة، يرمز لها بأحد الرقمين الثنائيين: 1 أو 0. (المترجم)

فعندما تحاول الاستخبارات الأمريكية فك شفرة ما لبلد آخر، تبحث عن مفتاح هذه الشفرة. وقد ابتكرت الأمم طرقا عبقرية لإنشاء مفاتيح تشفر بها رسائلها. فعلى سبيل المثال، قد يكون المفتاح مبنيا على إيجاد المعامل المشترك لرقم كبير. ولعله من السهل إيجاد المعامل المشترك للرقم 21 مثلاً، فهو حاصل ضرب 7 في 3. والآن، نفترض أن لديك رقما صحيحا مكونا من 100 عدد، وطلبت من حاسب رقمي إعادة كتابته باعتباره حاصل ضرب رقمين صحيحين آخرين. قد يحتاج الحاسوب الرقمي إلى دهر من الزمن كي يحلل هذا الرقم إلى معاملاته الأساسية. لكن الحاسب الكمي يملك من القدرة الهائلة ما يجعله قادرا على فك أي شفرة دون عناء. إن أداء الحاسب الكمي يتفوق بسرعة على الحاسب العادي في إنجاز تلك المهام العويصة.

إن الحاسبات الكمية ليست خيالا علميا، بل إنها موجودة في الواقع اليوم. وقد أتيحت لي الفرصة كي أرى الحاسب الكمي بنفسي، عندما قمت بزيارة معمل سث لويدي Seth Lloyd في معهد ماساشوستس للتكنولوجيا، وهو واحد من الرواد في هذا المجال. ويمتلى هذا المعمل بأجهزة الحاسب، ومضخات تفريغ الهواء، وأجهزة الاستشعار، لكن محاور تجربته جهاز يشبه جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي العادي، إلا أنه أصغر بكثير. وهذا الجهاز، مثله مثل جهاز الرنين المغناطيسي، به ملفان هائلان الحجم من الأسلاك يصنعان مجالا مغناطيسيا متناسقا في الحيز الواقع بينهما. وداخل هذا المجال المغناطيسي المتناسق، يقوم لويدي بوضع عينة من مادته. وتنظم الذرات داخل هذه العينة على نسق واحد، مثل النحلة

الدوارة. فإذا أشارت الذرة لأعلى كان هذا مقابلاً للصفر، وإذا أشارت لأسفل كان هذا معناه (واحد). ثم يث نبضة كهرومغناطيسية في العينة، مما يغير من ترتيب الذرات، حيث ينقلب بعضها. وهكذا يتحول الواحد إلى صفر. وبهذه الطريقة، يكون الجهاز قد أجرى عملية حسابية.

لماذا إذن لا نجد حاسبات الكم فوق مكاتنا، لتحل لنا ألغاز الكون؟ لقد اعترف لي لويد بأن المشكلة الحقيقية التي أثبتت الهمة عن إجراء الأبحاث في مجال حاسبات الكم تتمثل في الاضطرابات الوافدة من العالم الخارجي التي تدمر الخصائص الهشة لتلك الذرات.

فعندما تكون الذرات (متماسكة)، تتوافق ذبذباتها مع بعضها بعضاً، لكن يمكن لأصغر الاضطرابات الوافدة من العالم الخارجي حجماً أن تدمر هذا التوازن الدقيق، وتجعل الذرات (تتفكك). وبذلك تكف هذه الذرات عن التذبذب بشكل موحد معاً. نعم، إن مجرد مرور الأشعة الكونية، أو هدير شاحنة خارج المعمل، كفيلاً بأن يدمر التوحد الدوراني المغزلي الدقيق لتلك الذرات، فيدمر بالتالي العملية الحسابية.

ولا شك أن مشكلة عدم التماسك أصعب عائق يقف في وجه تصنيع حاسبات الكم. ومن ثم، فإن أي شخص يمكنه حل مشكلة عدم التماسك الذري لن يفوز وحسب بجائزة نوبل، وإنما سيصير أيضاً أغنى رجل على وجه الأرض.

وكما يمكنك أن تتصور، فإن صنع حاسبات الكم من الذرات المفردة المتماسكة يعد عملية مضيئة للغاية، لأن تلك الذرات سريعاً ما تفقد تماسكها وتخرج عن إطار اتساقها وتناغمها معاً. وحتى الآن، كانت أعقد عملية

حسابية تم إجراؤها بواسطة حاسب من حاسبات الكم هي  $5 \times 3 = 15$ . ورغم أن هذا لا يبدو إنجازا كبيرا، فعلى أن نتذكر أن هذه العملية الحسابية أجريت على ذرات منفردة.

أضف إلى ذلك أن هناك أمرا آخر معقدا وعجيبا مصدره نظرية الكم، ويقوم هو الآخر على قاعدة انعدام اليقين. فجميع الحسابات التي أجريت على حواسيب الكم غير مؤكدة، لذا لا بد من إعادة التجربة عدة مرات. إذن  $2 + 2 = 4$ ، أحيانا على الأقل. وإذا أعدت إجراء حاسبة  $2 + 2$  عدة مرات، فإن الإجابة النهائية تكون عبارة عن متوسط لعدة نتائج يساوي الرقم 4. ومن ثم، فإن الحساب نفسه يصير غامضا على حاسب كمي.

ولا أحد يعلم متى يمكن حل هذه المشكلة المرتبطة بعدم التماسك. بيد أن فينت سيرف Vint Cerf، وهو أحد المصممين الأوائل لشبكة الإنترنت، يتنبأ بأنه (بحلول عام 2050، سوف نعثر بالتأكيد على سبل لتحقيق حساب كمي يعمل في درجة حرارة الجو العادية).

وتجدر الإشارة أيضا إلى أن هناك احتمالات كبيرة جدا أن يستكشف العلماء مجموعة متباينة من تصميمات الحاسبات. وتضم بعض تلك التصميمات المتنافسة ما يلي:

- الحاسبات البصرية optical computers: تقوم هذه الحاسبات بإجراء العمليات الحسابية اعتمادا على أشعة الضوء، بدلا من الإلكترونات. ولما كانت أشعة الضوء يمكنها المرور عبر بعضها بعضا، فإن الحاسبات البصرية تتميز بقدرتها على أن تكون مكعبة، من دون أسلاك. وأشعة الليزر أيضا يمكن صنعها باستخدام تقنيات الطباعة الحجرية، مثل

الترانزستورات العادية، لذا من الممكن نظرياً حشد ملايين أشعة الليزر على رقاقة صغيرة.

- حاسبات النقاط الكمية quantum dot computers: يمكن حفر أشباه الموصلات المستخدمة في صنع الرقائق الإلكترونية في صورة نقاط صغيرة جداً تشتمل على مجموعات من 100 ذرة تقريباً. وعند هذه النقطة، يمكن أن تبدأ تلك الذرات في الاهتزاز معا بتناسق وانسجام. وفي عام 2009، تم صنع أصغر نقطة كمية في العالم من إلكترون واحد فقط. وقد أثبتت تلك النقاط الكمية<sup>(1)</sup> quantum dots قيمتها وجدارتها عند استخدامها في الصمامات الثنائية المشعة للضوء وشاشات أجهزة الحاسوب. وفي المستقبل، إذا أمكن ترتيب تلك النقاط الكمية على نحو ملائم، فقد يمكنها الوصول إلى صنع كمبيوتر كمي.

- حاسبات الحمض النووي DNA computers: في عام 1994، تم صنع أول جهاز كمبيوتر مصنوع من جزيئات الحمض النووي في جامعة جنوب كاليفورنيا University of Southern California. ولما كانت جدائل الحمض النووي تشفر المعلومات على الأحماض الأمينية التي تمثلها الحروف (A، T، C، G)، بدلاً من الواحد والصفر، فإنه يمكن اعتبار الحمض النووي بمثابة شريط كمبيوتر عادي، فيما عدا أنه

(1) النقاط الكمية quantum dots، أو الذرات الصناعية Artificial Atoms كما يطلق عليها بعض الباحثين: إحدى جسيمات النانو الصناعية، وهي عبارة عن بلورات تتخذ أشكالاً مختلفة قد تكون كروية أو مكعبة أو بيضاوية، ويتم صنعها عادة من أشباه الموصلات. وتتراوح أبعاد النقطة الكمية بين 1 نانومتر وبين 6 نانومترات، وتتألف من آلاف الذرات. (المترجم)

يستطيع تخزين معلومات أكثر . وبالطريقة ذاتها التي يمكن بها التعامل مع عدد رقمي كبير، وإعادة ترتيبه بواسطة الحاسبات الآلية، فإن المرء يستطيع أيضا أداء عمليات مناظرة عن طريق مزج أنابيب من السوائل التي تحتوي على الحمض النووي الذي يمكن قص جدائله وربطها بطرق عديدة. ورغم أن العملية تتسم بالبطء، فهناك عدة تريليونات من جزيئات الحمض النووي التي تعمل معا في وقت واحد، مما يتيح لحاسبات الحمض النووي حل عمليات حسابية معينة بكفاءة أكبر من كفاءة حاسب رقمي. لكن في حين أن الحاسب الرقمي ملائم ومريح للغاية ويمكن وضعه داخل هاتفك المحمول، نجد حاسبات الحمض النووي أكثر صعوبة، إذ تحتاج لمزج أنابيب سوائل تحتوي على الحمض النووي.



## منتصف القرن (من 2030 إلى 2070)

### التحول الشكلي

في فيلم (المدمر 2: يوم الحساب) Terminator 2: Judgment Day، يتعرض البطل أرنولد شوارزنيجر Arnold Schwarzenegger لهجوم من قبل روبوت متطور آت من المستقبل، اسمه (تي - 1000)، مصنوع من المعدن السائل. ويستطيع هذا الإنسان الآلي، الذي يشبه كتلة مرتعشة من الزئبق، تغيير شكله وشق طريقه مرادفاً أي عقبة تواجهه. فيمكنه التسلسل من أصغر شق أمامه، وتصميم أسلحة مميتة بإعادة تشكيل يديه وقدميه. ثم فجأة، يعيد تشكيل نفسه ليعود إلى هيئته الأصلية، ليواصل هياجه الإجرامي القاتل. وقد بدا (تي - 1000) وكأنه لا يوقفه شيء على الإطلاق، فهو آلة القتل المثالية.

وبالطبع، كل هذا كان من نسج الخيال العلمي. فتكنولوجيا اليوم لا تسمح لك بتحويل جسم صلب بمجرد إرادتك. غير أنه بحلول منتصف هذا القرن قد يصبح شكل من هذه التقنية المحولة للأشكال أمراً عادياً. وفي الحقيقة، تعد شركة إنتل إحدى الشركات الرئيسة التي تقود مسيرة هذه التقنية.

ومن المفارقات أنه بحلول عام 2050 سوف تصبح ثمار تكنولوجيا النانو في كل مكان، لكنها ستكون محتفية عن الأنظار. فكل المنتجات تقريباً سوف يتم تحسينها وتطويرها عبر تقنيات التصنيع الجزيئي. وهكذا،

ستصبح ذات قوة خارقة ومقاومة وموصلة للكهرباء والحرارة ومرنة. كما ستمنحنا تكنولوجيا النانو أيضا أجهزة استشعار تقدم لنا على الدوام الحماية والمعونة. تلك الأجهزة التي ستتوزع في البيئة مخفية عن الأنظار تحت سطح وعينا. نعم، سوف نسير في الشارع ويبدو كل شيء آمنا كما هو، ولهذا لن نعرف أبدا كيف غيرت تكنولوجيا النانو العالم من حولنا. غير أن هناك عاقبة واحدة لاستخدام تكنولوجيا النانو ستبدو واضحة لنا.

ولعل الروبوت القاتل (تي - 1000) الذي ظهر في فيلم المدمر أكثر الأمثلة مأساوية على شيء من هذا المضمار يسمى المادة القابلة للبرمجة التي قد تسمح لنا ذات يوم بتغيير شكل ولون جسم ما، والهيئة المادية له، بضغط زر. وعلى المستوى البدائي، حتى لافتات النيون تعد شكلا من أشكال المادة القابلة للبرمجة، إذ يمكنك بضغطه على زر المصباح بث الكهرباء في أرجاء أنبوب غاز. فتثير الكهرباء ذرات الغاز، التي تعود بعد ذلك من جديد لحالتها العادية، مطلقة ضوءا أثناء ذلك. وهناك نوع أكثر تعقيدا من هذا، ألا وهو: شاشات الكريستال السائل Liquid Crystal Display (التي تشتهر بالاختصار (إل سي دي) LCD)، الموجودة في كل مكان الآن. وتحتوي الشاشة (إل سي دي) على كريستال سائل يصبح معتما عند إيصال تيار كهربائي ضعيف إليه. وهكذا، بتنظيم التيار الكهربائي الساري فيه، يمكن للمرء خلق ألوان وأشكال على الشاشة بضغط زر أيضا.

ويبدو أن العلماء في إنتل أكثر طموحا بكثير. إنهم يتخيلون استخدام

مادة قابلة للبرمجة في إحداث تغيير فعلي في شكل جسم صلب، تماما مثل أفلام الخيال العلمي. والفكرة بسيطة: صنع رقاقة كمبيوتر على هيئة حبة رمل صغيرة. وتسمح لك حبات الرمل الذكية تلك بتغيير الشحنة الكهربائية الاستاتيكية الموجودة على سطحها، بحيث تتجاذب هذه الحبات وتتنافر مع بعضها بعضا. وبمجموعة معينة من الشحنات، يمكن لتلك الحبات أن تنظم في صف لتصنع ترتيبا معينا. ودوما يمكنك إعادة برمجة تلك الحبات بحيث تتغير شحناتها الكهربائية، لتعيد في الحال تنظيم نفسها مشكلة ترتيبا مختلفا تماما. ويطلق على تلك الحبات اسم (كاتوم catoms وهو اسم مختصر لمصطلح claytronic atoms)، وذلك لأنها قادرة على التشكل كالصلصال على هيئات متنوعة من الأجسام. بمجرد تغيير شحناتها، تماما مثل الذرات. (المادة القابلة للبرمجة توجد صفات كثيرة مشتركة تجمع بينها وبين الروبوتات القابلة للتشكل التي رأيناها في الفصل الثاني. غير أنه في حين تحتوي الروبوتات القابلة للتشكل على قوالب ذكية، حجم الواحد منها حوالي بوصتين، يمكنها إعادة ترتيب ذواتها، تقلص المادة القابلة للبرمجة حجم تلك القوالب إلى ما يقل عن المليمتر ودون ذلك).

ومن بين المروجين لهذه التقنية جيسون كامبل Jason Campbell، وهو أحد كبار الباحثين في إنتل. يقول كامبل: (خذ مثلاً جهاز الهاتف المحمول. فهاتفني المحمول أكبر من أن يمكنني وضعه في جيبي بسهولة، بينما تجده شديد الصغر بالنسبة لحجم أصابعي. ويصير الأمر أسوأ عندما أحاول مشاهدة الأفلام أو كتابة بريدي الإلكتروني. لكن لو كان لدي

200 إلى 300 مليلتر من الكاتوم، لأمكنني أن أجعله يتخذ شكل الجهاز الذي أحتاجه في أي لحظة). إذن في لحظة ما لدي هاتف محمول في يدي، وفي اللحظة التالية يتشكل إلى شيء آخر. وبهذه الطريقة، لا أكون مضطرا لحمل الكثير من المعدات الإلكترونية معي.

وقد صنعت إنتل بالفعل، في معاملها، مصفوفة من الكاتومات التي يبلغ حجمها حوالي بوصة واحدة. ويشبه الكاتوم مكعبا به ما لا يعد ولا يحصى من الأقطاب الكهربائية الدقيقة التي تتوزع بالتساوي على سطوحها. وما يجعل الكاتوم متفردا أن باستطاعتك تغيير الشحنة الكهربائية الموجودة على كل واحد من أقطابه، وبهذا تتحد الكاتومات مع بعضها بعضا في اتجاهات متباينة. فبإحدى مجموعات الشحنات، قد تتجمع تلك المكعبات لتصنع مكعبا كبيرا. وإذا غيرت الشحنات على كل قطب من أقطاب المكعب، فإن الكاتومات تتفكك، ثم سرعان ما تتجمع من جديد لترتب نفسها في هيئة مختلفة تماما، لتصبح قاربا مثلاً.

وتكمن الفكرة في تقليص حجم كل كاتوم إلى حجم حبة الرمل، أو حتى أصغر من ذلك. وإذا حدث ذات يوم أن أتاحت لنا تقنيات الحفر على السليكون خلق كاتومات صغيرة للغاية في حجم خلية الجسم، فلعلنا نتمكن من تغيير أشكالنا بصورة واقعية من شكل لآخر، بمجرد الضغط على زر. يقول جاستن راتنر Justin Rattner، أحد المسؤولين الكبار في إنتل: (في توقيت ما خلال الأربعين عاما المقبلة، سوف يصبح هذا الأمر تكنولوجيا عادية منتشرة). ومن بين التطبيقات المباشرة التي يمكن تحقيقها تلك التي تخدم مصممي السيارات ومهندسي الطيران والفنانين

والمهندسين المعماريين، وأي شخص عليه أن يصمم نماذج ثلاثية الأبعاد لمشاريعه، ثم يطلب منه بصورة مستمرة إدخال التعديلات عليها. فمثلاً، لو كان لدى أحدهم قالب لموديل سيارة (سيدان) ذات أربعة أبواب، يمكن لذلك الشخص أن يجذب الموديل بالفأرة، ثم يمحطه، فيتحول شكله فجأة إلى طراز (هاتشباك). ثم يضغط القالب قليلاً مرة أخرى، فيحوّله إلى سيارة رياضية. وهذا يفوق بكثير صلصال التشكيل المعروف، الذي لا توجد له ذاكرة ولا ذكاء. أما المادة القابلة للبرمجة فإنها تملك ذكاءً وتستطيع تذكر الأشكال السابقة، والتأقلم مع الأفكار الجديدة، والاستجابة لرغبات المصممين. وبمجرد الانتهاء من القالب، يمكن إرسال التصميم بالبريد الإلكتروني إلى الآلاف من المصممين الآخرين، الذين يمكنهم بعد ذلك صنع نسخ مطابقة له.

وقد يكون لذلك تأثير هائل على المنتجات الاستهلاكية. فلعب الأطفال، على سبيل المثال، من الممكن برمجتها بحيث تغير شكلها بإضافة تعليمات برمجية جديدة. وهكذا، لن يحتاج المرء، في عيد الميلاد، سوى لتحميل البرنامج الخاص باللعبة الجديدة، وإعادة برمجة اللعبة القديمة، فتظهر لعبة جديدة تماماً. وربما احتفل الأطفال بعيد الميلاد لا بفتح الهدايا أسفل شجرة الكريسماس، وإنما بتحميل برنامج للعبتهم المفضلة أرسله إليهم بابا نويل بالبريد الإلكتروني. وستصبح الكاتومات التي ستصنع منها أحدث ألعاب السنة أهم شيء في الأسواق. ويعني هذا أن مجموعة كبيرة من السلع الاستهلاكية ربما تختزل في نهاية الأمر لتصبح برامج كمبيوتر ترسل عن طريق شبكة الإنترنت. فبدلاً من تأجير شاحنة لنقل قطع أثاث جديدة أو

أجهزة منزلية، قد يكون كل ما عليك أن تحمل برنامجا من شبكة الإنترنت، فتعيد تدوير سلعة القديمة. ولن يعود تحديد المنازل والشقق عبئا كما كان من قبل مع المادة القابلة للبرمجة. ففي مطبخك، سوف يكون تغيير البلاط والمناضد والأجهزة الكهربائية والدواليب أمرا لا يحتاج منك لأكثر من ضغطة زر.

أضف إلى ذلك أن هذا من الممكن أن يخفض نفقات التخلص من النفايات. فلن تكون مضطرا للتخلص من العديد من الأشياء غير المرغوب فيها، طالما أنه يمكنك ببساطة إعادة برمجتها. فإذا تعطل جهاز منزلي، أو انكسرت قطعة أثاث، فكل ما عليك عمله أن تعيد برمجتها فتصبح جديدة مرة أخرى.

ورغم الوعد الهائل المنتظر لهذه التقنية، فهناك أيضا مشاكل عديدة تواجه فريق إنتل. إحداها تتمثل في كيفية قيادة أوركسترا حركات كل تلك الملايين من الكاتومات. وسوف تكون هناك مشاكل متعلقة بعرض نطاق البث bandwidth، عندما نحاول رفع كل تلك المعلومات إلى المادة القابلة للبرمجة. غير أن هناك أيضا طرقا مختصرة يمكن للمرء أن يسلكها.

ففي أفلام الخيال العلمي، على سبيل المثال، من الشائع أن نشاهد (التحول)، بمعنى أن يتحول شخص ما فجأة إلى وحش. وقد كانت هذه العملية عادةً ما تكون شاقة بالغة التعقيد إذا أردنا أن نصنعها في أحد الأفلام، لكنها من الممكن الآن أن تتم بسهولة من خلال الحاسوب: أولاً، يتم تحديد متجهات معينة تميز النقاط الرئيسة المختلفة بالوجه، مثل الأنف والعينين، لكل من الإنسان والوحش. وفي كل مرة يتحرك فيها

هذا المتجه، يتغير الوجه بالتدرج. ثم ترمج أجهزة الحاسوب بعد ذلك لتحريك تلك المتجهات من وجه إلى الآخر، ومن ثم تغير ببطء الوجه من صورة إلى أخرى. وبالطريقة ذاتها، قد يكون من الممكن استعمال طرق مختصرة لتحويل جسم ثلاثي الأبعاد من شكل إلى آخر.

وهناك مشكلة أخرى تتمثل في أن قوى الكهرباء الاستاتيكية بين الكاتومات واهنة، عند مقارنتها بالقوى الصلبة بين الذرات وبعضها التي تجعل المواد الصلبة متماسكة. وكما رأينا من قبل، فإن قوى الكم من الممكن أن تكون عظيمة القدرة، فهي المسؤولة عن خواص الصلابة التي تميز المعادن، وعن خصائص المرونة التي تميز البلاستيك. وسوف تصبح مسألة استبدال قوى الكم تلك بنظيرتها من قوى الكهرباء الاستاتيكية من أجل ضمان ثبات المادة قضية مهمة في المستقبل.

وقد أتيحت لي فرصة أن أشاهد على الطبيعة تلك التطورات المهمة والمتلاحقة في مسألة المادة القابلة للبرمجة، عندما اصطحبت طاقم تصوير قناة ساينس العلمية Science Channel لزيارة سيث جولدشتاين Seth Goldstein بجامعة كارنيجي ميلون. ففي معمله، يمكنك أن تشاهد أكواما هائلة من المكعبات المتناثرة بأحجام متباينة هنا وهناك فوق منضدة، وكل منها يحوي رقاقت بداخله. وقد رأيت اثنين من تلك المكعبات ملتصقين ببعضهما بعضا بقوة بواسطة قوى كهربائية، وطلب مني أن أحاول فصلهما عن بعضهما بيدي. والمدersh أني لم أتمكن من ذلك. لقد اكتشفت أن القوى الكهربائية التي تربط بين هذين المكعبين كانت بالغة القوة. وبعد ذلك، أوضح لي جولدشتاين أن تلك القوى الكهربائية

من الممكن أن تكون أعظم من هذا لو أننا صغرنا أحجام المكعبات. ثم اصطحبني إلى معمل آخر، حيث أراني كيف يمكن تصغير حجم تلك الكاتومات. فعن طريق استخدام ذات التقنيات المستخدمة في نحت ملايين الترانزستورات فوق شرائح السليكون الرقيقة، تمكن جولدشتاين من نحت كاتومات مجهرية الحجم؛ لا يزيد عرض الواحدة منها عن بضعة ملليمترات. والحقيقة أنها كانت من الصغر بحيث اضطرت لرؤيتها تحت المجهر حتى أتمكن من مشاهدتها بوضوح. وهو يأمل أن يتمكن في نهاية المطاف، عن طريق التحكم في قواها الكهربائية، من جعلها تنتظم في أي شكل بضغطة زر، بصورة أشبه بالساحر الذي يضرب بعصاه فيسحر أي شيء يريده.

ولقد طرحت عليه سؤالاً خاصاً بالطريقة التي سيعطي بها تعليمات تفصيلية للمليارات ومليارات الكاتومات، بحيث يمكن فجأة تحويل ثلاثة مثلاً إلى موقد. وقلت له إن الأمر أشبه بكابوس في مجال البرمجة. إلا أنه أجابني بأنه ليس من الضروري إعطاء تعليمات مفصلة لكل كاتوم على حدة. فكل كاتوم عليه فقط أن يعرف أي جار عليه أن يلتصق به. فإذا تلقى كل كاتوم تعليمات بالالتحام بمجموعة صغيرة فقط من الكاتومات المجاورة، فإن الكاتومات تعيد ترتيب نفسها بصورة أقرب للسحر في تركيب معقد (على نحو يشبه كثير احتياج الخلايا العصبية لطفل رضيع لمعرفة كيف تلتصق بالخلايا العصبية المجاورة لها أثناء نمو المخ).

فإذا افترضنا أن مشكلة البرمجة وثبات المادة ممكنة الحل، فمع نهاية القرن سوف تصبح هناك إمكانية لإنشاء بنايات كاملة، بل ومدن، بمجرد ضغطة



زر. فالمرء لا يحتاج حينئذ سوى لتحديد موقع البنايات، وحفر الأساسات، ثم ترك تريليونات الكاتومات تنشئ مدنا كاملة في الصحاري أو الغابات. غير أن هؤلاء المهندسين العاملين بآنتل يحلمون بذلك اليوم الذي يمكن فيه للكاتومات أن تأخذ هيئة بشرية. يقول راتنر: (ولم لا؟ إنه أمر مثير للتفكير والتأمل). (وبعدها ربما يتحول الروبوت (تي - 1000) إلى حقيقة واقعة).

## المستقبل البعيد (من 2070 إلى 2100)

### الكأس المقدسة: الناسخ

بحلول عام 2100، يحلم مناصرو تكنولوجيا النانو بظهور آلة أكثر قدرة بكثير من كل ما سبق، ألا وهي: (المُجمّع الجزيئي) أو (الناسخ) replicator، القادر على خلق أي شيء. وربما يتكون هذا الناسخ من ماكينة بحجم غسالة الأطباق. وسوف تضع أنت المادة الخام الأساسية داخل الماكينة، ثم تضغط على أحد الأزرار. وعندئذ ستقترب تريليونات من النانوبوتات<sup>(1)</sup> nanobots من تلك المادة الخام. وكل واحد من هذه النانوبوتات مبرمج لفصلها عن بعضها جزئياً جزئياً، ثم إعادة تجميعها من جديد لصنع منتج مختلف تماماً. وسوف تكون هذه الماكينة حينئذ قادرة على صنع أي شيء. وسيكون جهاز النسخ بمثابة قمة في الإنجاز في كل من الهندسة والعلوم معاً، وذروة ثمرة نضالنا منذ التقطنا أول آلة بأيدينا في تلك العصور الغابرة التي سبقت تدوين التاريخ.

وإحدى مشكلات تلك الآلة الناسخة هي ذلك الرقم الفلكي من الذرات التي يتعين إعادة ترتيبها لتنسخ لنا شيئاً ما. فالجسم البشري، على سبيل المثال، يضم ما يزيد عن 50 تريليون خلية، وما يزيد عن  $10^{26}$  ذرة. وهذا رقم مهول يحتاج إلى مساحة ذاكرة هائلة لمجرد تخزين مواقع كل

(1) النانوبوت Nanobot: روبات ذو أبعاد بحجم النانو، ويكون إما ميكانيكياً وإما كهروميكانيكياً. (المترجم)

تلك الذرات.

لكن ثمة طريقة للتغلب على هذه المشكلة، ألا وهي: صنع (نانوبوت)، وهو روبوت جزئي ما يزال في مرحلة الافتراض التخيلي. ولهذه النانوبوتات عدة خصائص أساسية. أولاً؛ بإمكانها استنساخ ذاتها. وإذا كان بإمكانها أن تتكاثر ولول مرة واحدة، فإن هذا معناه أنها من حيث المبدأ قادرة على صنع عدد لا نهائي من النسخ من أنفسها. إذن، فالحيلة التي نحتاج إليها هي صنع أول نانوبوت منها فحسب. ثانياً؛ هذه النانوبوتات قادرة على التعرف على الجزيئات وتقطيعها عند نقاط محددة بدقة. ثالثاً؛ باتباع كود أو شفرة رئيسة، تصبح قادرة على إعادة تجميع تلك الذرات وفق ترتيب مختلف لكل منها. ومن ثم، فمهمة إعادة ترتيب  $10^{26}$  ذرة من الممكن اختزالها إلى صنع هذا العدد من النانوبوت، كل منها مصمم من أجل التعامل مع ذرة واحدة على حدة. وبهذه الطريقة، لم يعد ذلك العدد الفلكي من ذرات الجسد يمثل عقبة كئودا. بيد أن المشكلة الحقيقية تكمن في صنع أول واحد من تلك النانوبوتات الأسطورية، ثم تركها تتكاثر من تلقاء نفسها.

وينقسم المجتمع العلمي على نفسه بشأن ما إذا كان حلم مصنع النانو مكتمل التكوين أمراً ممكنًا من الناحية الفيزيائية أم لا. فهناك قلة من العلماء، من أمثال إريك دركسلر Eric Drexler (واحد من رواد تكنولوجيا النانو، ومؤلف كتاب (محركات الخلق) (The Engines of Creation)، تتصور مستقبلاً تصنع فيه جميع المنتجات على نطاق جزئي، فتخلق وفرة من السلع لا يمكننا في زمننا الحاضر سوى أن نحلم بها فقط. وحينها سوف

ينقلب كل جانب من جوانب المجتمع رأساً على عقب عندما تُخلق ماكينه يمكنها أن تخلق أي شيء تتمناه. في حين ينتقد علماء آخرون هذه الفكرة. فالعالم الراحل الحائز على جائزة نوبل ريتشارد سمولي Richard Smalley، على سبيل المثال، أثار مشكلة (الأصابع الزجة) و(الأصابع السمينه) في مقال نشرته مجله ساينتفك أمريكان Scientific American عام 2001. وكان سؤاله المحوري: هل يمكن بناء نانوبوت جزيئي يملك من الذكاء ما يكفي لجعله يعيد ترتيب الجزيئات بإرادته؟ وكانت إجابته عن هذا السؤال بالنفي.

وقد تفجر الجدل عندما اختلف سمولي مع دركسلر في سلسلة من الخطابات المتبادلة بينهما التي نشرت تباعاً على صفحات مجلة كيميكال آند إنجنيرينج نيوز Chemical & Engineering News بين عامي 2003 و2004. وما تزال أصدااء هذا الجدل تتردد حتى يومنا هذا. وكان طرح سمولي أن أصابع الماكينة الجزيئية لن تكون قادرة على أداء تلك المهمة الدقيقة لسببين:

السبب الأول أن تلك (الأصابع) سوف تواجه قوى جاذبة بالغة الصغر ستجعلها تلتصق بجزيئات أخرى. والذرات بدورها تتلاصق ببعضها بعضاً، ومن أسباب ذلك وجود تلك القوى الكهربائية بالغة الصغر، كقوى فان دير فالس، التي توجد بين إلكتروناتهما. هب مثلاً أنك حاولت إصلاح ساعة وقد غطيت أطراف الملاقيط التي تستخدمها بعسل النحل. لا شك أن محاولة تجميع أي شيء يماثل دقة أجزاء الساعة الداخلية ستكون أمراً مستحيلاً. والآن، تخيل شيئاً أكثر تعقيداً بكثير من الساعة، كجزيء

يلتصق دوماً بأصابعك.

والسبب الثاني أن تلك الأصابع قد تكون شديدة (السمنة)، بحيث لا يمكنها التعامل مع الذرات. تصور مثلاً محاولة إصلاح تلك الساعة وأنت ترتدي قفازات قطنية سميكة. ولما كانت (الأصابع) هنا قد صنع كل واحد منها من ذرات، مثلها مثل الأشياء التي تتعامل معها، فإنها ببساطة قد تكون شديدة السمك بحيث لا يمكنها أداء العمليات الدقيقة المنوطة بها.

وقد استخلص سمولي في النهاية أنه (مثلما لا يمكنك أن تجعل فتى وفتاة يقعان في الغرام. مجرد دفع أحدهما تجاه الآخر، فإنه لا يمكنك كذلك أن تجعل عمليات كيميائية دقيقة تجري حسب رغبتك بين شينين جزيئين. مجرد حركة ميكانيكية بسيطة.. فالكيمياء، كالحب، أكثر تعقيداً من ذلك).

ويصل هذا الجدل إلى لب مسألة ما إذا كانت آلة النسخ سوف تتمكن يوماً ما من إشعال ثورة في المجتمع، أم أنها ستعامل في البداية بفضول ثم يُلقى بها في النهاية في سلة مهملات التكنولوجيا. وكما رأينا، فإن قوانين الفيزياء في عالمنا لا تترجم بسهولة إلى فيزياء النانو. فالظواهر التي يمكننا تجاهلها، مثل قوى فان دير فالس والتوتر السطحي وقاعدة انعدام اليقين وقاعدة الاستبعاد لباولي وغير ذلك، تصبح هي المهيمنة على عالم النانو.

ولكي نحسن تقدير تلك المشكلة، تخيل أن الذرة بحجم بلية، وأن لديك حمام سباحة مليئاً بتلك الذرات بدلاً من الماء. إذا سقطت في هذا الحمام، فإن هذا يختلف تماماً عن السقوط في حمام سباحة ممتلئ بالماء.

فهذا البلي سوف يظل يهتز ويصطدم بك من جميع الاتجاهات، بسبب الحركة البراونية<sup>(1)</sup> Brownian motion. ومحاولة السباحة في هذا الحمام سوف تكون أمرا مستحيلا، لأنها ستكون أشبه بمحاولة السباحة في حمام من العسل الأسود. ففي كل مرة تحاول فيها جذب واحدة من هذا البلي، تجدها إما تروغ بعيدا عنك، أو تلتصق بأصابعك، نتيجة لوجود خليط معقد من القوى.

وفي النهاية، اتفق العالمان على ألا يتفقا. وعلى الرغم من أن سمولي لم يتمكن من توجيه ضربة قاضية للناسخ الجزيئي، فإن العديد من الأمور صارت واضحة بعد أن انقشع الغبار. أولا، بات واضحا أن كليهما اتفقا على أن الفكرة الساذجة المتمثلة في نانوبوت مسلح بملاقيط جزيئية تقص وتلصق الجزيئات معا لا بد من تعديلها. فهناك قوى كم جديدة سوف تهيمن على المستوى الذري.

ثانيا، رغم أن هذا الناسخ، أو المصنع العام، ما زال إلى اليوم يعد من قبيل الخيال العلمي، فإن هناك نسخة منه بالفعل. فالطبيعة، على سبيل المثال، يمكنها أن تأخذ الهامبرجر والخضر وتحولها إلى طفل وليد خلال تسعة أشهر فحسب. وهذه العملية تتم بواسطة جزيئات الحمض النووي

(1) الحركة البراونية Brownian motion: الحركة العشوائية لجزيئات ميكرونية في سائل. ويُنسب اكتشاف هذه الحركة إلى عالم النباتات الأسكتلندي روبرت براون عام 1827، إثر دراسته لجزيئات رحيق الأزهار. فقد لاحظ عندما وضع هذه الجزيئات في الماء أنها في حركة عشوائية متواصلة، فتساءل عن سبب هذه الحركة. أي ناتجة عن كون الجزيئات كائنات حية؟ وللتأكد من هذه الفرضية، قام براون بتكرار التجربة نفسها مستخدما هذه المرة جزيئات معدنية ميكرونية. ومن جديد، شاهد حركة شديدة التشابه مع ملاحظاته السابقة. وقد أثبتت هذه التجارب أن الحركة البراونية غير ناتجة عن قوة حيوية. ذكر ألبرت أينشتاين، في واحدة من مقالاته الشهيرة، أن أصلها فيزيائي. (المترجم)

(التي تحمل شفرة تكوين الطفل) التي توجه عمل الريبوسومات (التي تقص وتلصق الجزيئات حسب ترتيبها الصحيح) باستخدام البروتينات والأحماض الأمينية الموجودة في الطعام.

ثالثاً، قد ينجح المجمع الجزيئي، لكن بنسخة أكثر تعقيداً. فمثلاً، حسبما أوضح سمولي، وضع ذرتين إلى جوار بعضهما لا يضمن حدوث تفاعل بينهما. لكن كثيراً ما تتحايّل الطبيعة على هذه المشكلة بتوظيف طرف ثالث، وهو إنزيم في محلول مائي، لتيسير حدوث تفاعل كيميائي. وقد أوضح سمولي أن العديد من المواد الكيميائية الموجودة في صناعة الحاسبات والإلكترونيات لا يمكن إذابتها في الماء. غير أن دركسلر رد زاعماً أنه ليست كل التفاعلات الكيميائية تحتاج إلى ماء أو إنزيمات.

أحد الاحتمالات، مثلاً، يطلق عليه اسم التجميع الذاتي، أو أسلوب من القاع إلى القمة. منذ القدم، اعتاد البشر على أسلوب من القمة إلى القاع في البناء. فباستخدام أدوات كالطرقة والمنشار، يبدأ الشخص بقطع الأخشاب ثم جمع قطع الأخشاب سوياً لصنع تكوينات أكبر حجماً، كالمنازل مثلاً، وفق تصميم معين. وعليك أن توجه هذه العملية بحرص من أعلى في كل خطوة.

لكن في أسلوب من القاع إلى القمة، تتجمع الأشياء معاً من تلقاء نفسها. ففي الطبيعة، على سبيل المثال، تتبلور رقائق الثلج الجميلة من تلقاء نفسها كلية أثناء العاصفة الرعدية. وتعيد تريليونات الذرات ترتيب نفسها لصنع أشكال جديدة. فلا أحد يقوم بتصميم كل رقاقة جليد. وهذا كثيراً ما يحدث في النظم الحيوية أيضاً. فالريبوسومات البكتيرية،

وهي نظم جزيئية معقدة تحتوي على الأقل على خمسة وخمسين جزيئا بروتينيا متنوعا، علاوة على العديد من جزيئات الحمض الريبي النووي<sup>(1)</sup> ribonucleic acid (المعروف اختصارا بـ (آر إن إيه) RNA)، يمكنها تجميع ذاتها من تلقاء نفسها في أنبوب اختبار.

ويستخدم التجميع الذاتي أيضا في صناعة أشباه الموصلات. فالمكونات المستخدمة في الترانزستورات أحيانا تقوم بتجميع ذاتها بنفسها. وتطبيق تقنيات وعمليات معقدة متنوعة بترتيب دقيق (مثل التبريد السريع، والتبلر، والبلمرة، وترسيب البخار، والتجميد.. إلخ)، يمكن للمرء إنتاج مكونات حاسب آلي ذات قيمة تجارية. وكما شهدنا من قبل، يمكن إنتاج نوع معين من جسيمات النانو التي تستخدم ضد خلايا السرطان بهذه الطريقة.

غير أن معظم الأشياء لا تخلق نفسها بنفسها. فبصفة عامة، لم تُظهر سوى نسبة ضئيلة من مواد النانو القدرة على تجميع ذواتها بطريقة سليمة. ولا يمكنك أن تصنع طلبية ماكينة نانو تستخدم التجميع الذاتي مثلما تطلب صنفا من قائمة طعام مثلاً. وهكذا، فإن التقدم في صنع ماكينات النانو بهذه الطريقة سوف يكون ثابتا، لكنه سيكون بطيئا.

وباختصار، فإن أجهزة التجميع الجزيئي لا تحرق أي قانون فيزيائي،

(1) الحمض الريبي النووي ribonucleic acid (اختصاراً آر إن إيه أو رنا RNA): عبارة عن بوليمر حمضي نووي مؤلف من ارتباط تكافؤي لمجموعة من النيكليوتيدات. وتتميز نيكليوتيدات الرنا عن نيكليوتيدات الدنا بأنها تحوي حلقة ريبوز كما تضم يوراسيل، في حين تحوي نيكليوتيدات الدنا ريبوزاً منقوص الأكسجين وثايمين. ويتم تخليق الحمض النووي الريبي عن طريق عملية النسخ الوراثية اعتماداً على بنية المورثات في الدنا بواسطة إنزيمات تدعى رنا بوليمراز، ثم تجرى عليها تعديلات أخرى بواسطة إنزيمات أخرى. وتعمل الرنا كقالب لترجمة الجينات إلى بروتينات، وأيضاً كناقل للأحماض الأمينية إلى الريبوسومات لتشكيل البروتينات. (المترجم)



لكن بناءها سوف يكون غاية في الصعوبة. نعم، النانوبوتات ليست موجودة الآن، ولن تكون موجودة في المستقبل القريب، لكن إذا حدث وظهر أول نانوبوت بنجاح، فإن هذا قد يغير شكل المجتمع الإنساني الذي نعرفه.

## صنع جهاز النسخ

ما الشكل الذي يمكن أن تكون عليه آلة النسخ تلك؟ لا أحد يعلم على وجه التحديد، إذ إن زمنا يتراوح بين عقود وقرن يفصلنا عن بناء واحدة فعلاً، لكن أصبح لدي تصور للشكل الذي قد يكون عليه الناسخ عندما خضعت ذات يوم لفحص رأسي (فعلاً لا مجازاً). فمن أجل برنامج خاص بقناة ساينس العلمية، صنعوا نسخة واقعية ثلاثية الأبعاد لوجهي من البلاستيك، عن طريق مسح وجهي أفقياً بواسطة شعاع ليزر. وأثناء ارتداد الشعاع من فوق بشرتي، تم تسجيل هذا الانعكاس بواسطة مستشعر قام بتغذية الحاسب ببيانات صورتي. وبعدها، مر الشعاع مرة أخرى فوق وجهي، لكنه هذه المرة كان أبطأ قليلاً. وفي النهاية، قام بعمل مسح لوجهي بالكامل، مقسماً إياه إلى عدة شرائح أفقية. وبالنظر إلى شاشة جهاز كمبيوتر، أمكنني رؤية صورة ثلاثية الأبعاد بارزة لسطح وجهي، بدقة ربما تقارب عُشر المليمتر، تتكون من تلك الشرائح الأفقية.

بعد ذلك، تمت تغذية جهاز ضخّم - في حجم الثلاجة تقريباً - بتلك المعلومات، وكان هذا الجهاز قادراً على صنع صورة بلاستيكية ثلاثية الأبعاد لأي شيء تقريباً. وللجهاز فوهة رشاش دقيقة الحجم تتحرك أفقياً،

وتمر عدة مرات. وفي كل مرور لها، ترش مقداراً ضئيلاً من البلاستيك المنصهر، فتتسخ صورة باليزر لشكل وجهي الأصلي. وبعد حوالي عشر دقائق والعديد من دورات المرور، خرج القلب من هذه الماكينة، حاملاً صورة مشابهة تماماً لوجهي.

إن التطبيقات التجارية لهذه التقنية هائلة، إذ يمكنك صنع نسخ واقعية من أي جسم ثلاثي الأبعاد، مثل الأجزاء المعقدة للآلات، خلال بضعة دقائق. إلا أنه باستطاعة المرء أن يتخيل جهازاً، يظهر بعد فترة تتراوح بين عدة عقود وقرن من الآن، يكون قادراً على خلق نسخة ثلاثية الأبعاد من جسم حقيقي، حتى أصغر مستوياته الخلوية والذرية.

وعند المستوى التالي، من الممكن استخدام هذا الماسح ثلاثي الأبعاد في خلق الأعضاء الحية للجسم البشري. وقد ابتكر العلماء، في جامعة ويك فوريسست Wake Forest University، بالفعل طريقة جديدة لصنع نسيج قلب حي، باستخدام طابعة تنفث الحبر. وكان عليهم أولاً أن يكتبوا بعناية برنامج كمبيوتر يقوم برش متتابع لخلايا القلب الحية مع كل مرة يمر فيها الرشاش عليها. ولهذا الغرض يستخدمون طابعة عادية تنفث الحبر، غير أن خرطوشتها مملوءة بخليط من السائل الذي يحتوي على خلايا القلب الحية. وبهذه الطريقة، تصبح لديهم السيطرة على الموضع الدقيق لكل خلية حسب إحداثياته ثلاثية الأبعاد. وبعد عدة مرات من مرور الرشاش، يمكنهم بالفعل خلق طبقات من نسيج القلب.

وهناك أداة أخرى يمكنها تسجيل موقع كل ذرة في جسمك، ألا وهي: جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي MRI. وكما لاحظنا من قبل، فإن دقة

المسح بالرنين المغناطيسي تبلغ حوالي عُشر المليمتر. ومعنى هذا أن كل بكسل في صورة المسح الحساس للرنين المغناطيسي قد تحتوي على آلاف الخلايا. لكن إذا فحصت المبدأ الفيزيائي الذي بنيت عليه فكرة الرنين المغناطيسي، لوجدت أن دقة الصورة مرتبطة بتناسق المجال المغناطيسي داخل الماكينة. وهكذا، فعن طريق جعل المجال المغناطيسي أكثر اتساقاً، يمكن الوصول إلى ما هو دون العُشر ملليمتر.

ويتخيل العلماء الآن بالفعل ماكينة على نمط جهاز الرنين المغناطيسي ذات دقة تبلغ حجم الخلية، بل حتى أصغر من ذلك، أي يمكنها الوصول إلى أحجام الجزيئات والذرات.

وباختصار، لا يمثل الناسخ خرقاً لقوانين الفيزياء، لكنه سيكون من الصعب عليه أن يخلق شيئاً بطريقة التجميع الذاتي. وبحلول أواخر هذا القرن، عندما يتقن الإنسان تقنيات التجميع الذاتي إتقاناً تاماً، سوف يمكننا التفكير في شأن التطبيقات التجارية للأجهزة النانوية.

## سناج رمادي

أعرب بعض الناس عن تحفظاتهم بشأن تكنولوجيا النانو. ومن بين هؤلاء بيل جوي Bill Joy، أحد مؤسسي شركة صن مايكرو سيستمز Sun Microsystems، الذي كتب يقول إن المسألة مسألة وقت قبل أن تتوحش تلك التكنولوجيا، لتفترس جميع المعادن الموجودة على الأرض، ثم تبصق بدلاً منها (سناجاً رمادياً). كذلك عارض الأمير تشارلز ولي عهد إنجلترا تكنولوجيا النانو وسيناريو السناج الرمادي.

ويكمن الخطر في الخاصية الأساسية لتلك النانوبوتات، ألا وهي: استطاعتها استنساخ نفسها. فهي مثل الفيروس، لا يمكن استدعاؤها بعد إطلاق سراحها في البيئة. ومن ثم، يمكن لها أن تتكاثر بشراهة، وتسيطر على البيئة وتدمر كوكب الأرض في نهاية المطاف.

واعتقادي الشخصي أن هناك عقوداً عدة، وربما قروناً، تفصلنا عن مرحلة نضج هذه التكنولوجيا بالدرجة الكافية التي تجعلنا نصنع الجهاز الناسخ، لذا فإن المخاوف من مسألة السناج الرمادي سابقة لأوانها. ومع مرور عشرات السنين، سوف تتاح لنا فسحة كبيرة من الوقت تسمح لنا أن نصمم وسائل وقاية ضد النانوبوتات حتى لا تتوحش. فمثلاً، يمكن تصميم نظام تعطيل، بحيث تصبح جميع النانوبوتات عديمة الفائدة بمجرد الضغط على زر الفزع. أو يمكن تصنيع (روبوتات قاتلة) مصممة خصيصاً للبحث عن النانوبوتات وتدميرها، إن هي خرجت عن نطاق سيطرتنا.

وهناك أسلوب آخر للتعامل مع هذا الأمر، ألا وهو: دراسة (الطبيعة) صاحبة الخبرة الممتدة لمليارات السنين في التعامل مع هذه المشكلة. إن عالمنا مليء بأشكال الحياة الجزيئية التي تستنسخ ذاتها، والمسماة بالفيروسات والبكتريا، والتي يمكنها أن تنقسم وتتكاثر حتى تخرج عن نطاق السيطرة، بل وأن تطرأ عليها طفرات كذلك. والحقيقة أن أجسامنا أيضاً صنعت (نانوبوتات) خاصة بها، وهي الأجسام المضادة وخلايا الدم البيضاء داخل جهاز مناعتنا التي تبحث عن تلك الأشكال الحيوية الغريبة وتدمرها. ومن المؤكد أن هذا النظام غير مثالي تماماً، لكنه يقدم لنا نموذجاً للتعامل مع مشكلة خروج النانوبوتات عن نطاق السيطرة.

## الأثر الاجتماعي لأجهزة النسخ

في أحد البرامج الخاصة لحساب قناة بي بي سي/ديسكفري/BBC، Discovery Channel، استضافت ذات مرة جويل جارو Joel Garreau، مؤلف كتاب (ثورة جذرية) Radical Revolution، الذي قال: (إذا قدر لجهاز المجمع الذاتي أن يظهر إلى الوجود يوماً ما، فسوف تكون تلك واحدة من اللحظات الفارقة العظيمة في التاريخ! حينها، نتحدث فعلاً عن تغيير العالم إلى شيء لم نعرفه من قبل).

هناك قول مأثور ينصحن بأن نكون حذرين في أمانينا، فقد تتحول إلى حقيقة ذات يوم. والكأس المقدسة لتكنولوجيا النانو تمثل في خلق المجمع الجزيئي، أو الجهاز الناسخ، لكنه بمجرد ابتكاره من الممكن أن يغير الأساس نفسه الذي يقوم عليه المجتمع عينه. فجميع الفلسفات والنظم الاجتماعية مبنية، في نهاية المطاف، على مسألتين: الندرة والفقر. وطوال مسيرة التاريخ الإنساني، كانت تلك هي الفكرة الأساسية التي تدور في أرجاء المجتمع، وتشكل ثقافتنا وفلسفاتنا وأدياننا. ففي بعض الديانات، ينظر إلى الوفرة باعتبارها مكافأة ربانية، والفقر ليس إلا عقاباً من الخالق. وعلى النقيض، تقوم البوذية على الطبيعة العالمية للمعاناة وكيفية تكيفنا معها. وفي المسيحية، يقول العهد الجديد: (إن مرور جمل من ثقب إبرة أيسر من أن يدخل غني إلى ملكوت الله).

إن توزيع الثروة يحدد أيضاً المجتمع نفسه. فالنظام الإقطاعي يقوم على المحافظة على الثروة في أيدي حفنة من الأرستقراطيين، مقابل أن يظل الفلاحون على فقرهم. أما الرأسمالية فتقوم على فكرة أن يكافأ ذوو الهمة

والنشاط من المنتجين على كدهم بأن يفتتحو شركات، فيصبحوا أثرياء. لكن إذا تمكن الكسولون غير المنتجين من اكتساب ما يريدون الحصول عليه مجاناً، بضغطة زر، فإن الرأسمالية تقوض من أساسها. وهكذا، فإن جهاز النسخ قد يقلب الأوضاع كلها رأساً على عقب، وفي مقدمتها العلاقات الإنسانية. وقد تتلاشى الفوارق بين الأغنياء والفقراء، ومعها فكرة المنزلة الاجتماعية والنفوذ السياسي.

ولقد تمت مناقشة هذا اللغز في إحدى حلقات مسلسل (رحلة النجوم) Star Trek، بعنوان (الجيل القادم) The Next Generation. ففي هذه الحلقة، عُثِرَ على إحدى كبسولات الفضاء التي تعود إلى القرن العشرين سابحة في الفضاء الخارجي. وداخل الكبسولة كانت هناك أجسام مجمدة لأناس عانوا من أمراض مستعصية تعود إلى تلك الحقبة البدائية من الزمن. وقد جمدت هذه الأجسام على أمل إعادة الحياة إليها مستقبلاً. وسرعان ما يعالج أطباء سفينة الفضاء إنتربرايز هؤلاء الأفراد من أمراضهم، ويعيدوا إليهم الحياة من جديد. ويندهش هؤلاء الناس سعداء الحظ من أن مغامرتهم قد أثمرت، غير أن واحداً منهم كان رأسمالياً داهية. فكان أول ما سأل عنه: في أي زمن نحن؟ وعندما علم أنه في القرن الرابع والعشرين، سرعان ما أدرك أن استثماراته لا بد أنها تساوي ثروة الآن. لذا طلب على الفور الاتصال بمسؤول البنك الذي يتعامل معه على كوكب الأرض. غير أن طاقم إنتربرايز يصاب بالدهشة، متسائلاً: أموال؟ استثمارات؟ هذه الأشياء لم يعد لها وجود في المستقبل. ففي القرن الرابع والعشرين، كل ما عليك هو أن تطلب فتجاب.

وهذا يثير أيضاً مسألة البحث عن المجتمع المثالي أو المدينة الفاضلة (يوتوبيا)، وهي كلمة صيغت في رواية من تأليف سير توماس مور Sir Thomas More عام 1516 بعنوان (يوتوبيا) Utopia. فلما أفزعته المعاناة والظروف السيئة التي كان يراها من حوله، تخيل مور فردوساً على جزيرة خيالية بالمحيط الأطلنطي. وفي القرن التاسع عشر، ظهرت العديد من الحركات الاجتماعية في أوروبا التي تبحث عن أشكال متباينة من المدينة الفاضلة. وقد وجد العديد منها ملاذ في الفرار إلى الولايات المتحدة، حيث نرى أدلة على مستعمراتهم حتى يومنا هذا.

ويبدو أنه من هذه الناحية يمكن لجهاز النسخ أن يمنحنا مدينة فاضلة كانت ذات يوم خيالاً في أذهان حالمى القرن التاسع عشر. فإذا كانت تجارب اليوتوبيا السابقة قد أخفقت بسبب الندرة، مما أدى لانعدام المساواة، ثم الشح، وأخيراً الانهيار. فربما تتمكن أجهزة النسخ من حل هذه المشكلة، وعندها تكون المدينة الفاضلة أمراً في متناول أيدينا. فتزدهر الفنون والموسيقى والشعر، ويكون الناس أحراراً في التنقيب عن أكثر أحلامهم ورغباتهم جموحاً.

لكن من ناحية أخرى، قد يؤدي عدم وجود عامل محفز، وهو الندرة والمال، إلى الانغماس في الملذات، فيتحلل المجتمع الذي سيغرق إلى أحط مستوياته. فحفنة قليلة للغاية من الناس ستناضل من أجل كتابة الشعر مثلاً، وهي تلك التي تحمل بين جوانحها دوافع قوية لذلك. أما الباقون، حسبما يزعم النقاد، فسوف يصبحون كسالى لا يصلحون لعمل أي شيء.

بيد أنه حتى التعريفات التي يستخدمها المنادون بفكرة المدينة الفاضلة

تستدعي الريبة. فالشعار الذي يردده دعاة الاشتراكية مثلاً هو: (خذ من كل فرد حسب قدرته، وأعط كل فرد حسب إسهامه). أما شعار الشيوعية، وهي أعلى مراتب الاشتراكية، فهو: (الكل يعطي حسب قدرته، والكل ينال حسب حاجته).

والواقع أنه لو كانت أجهزة النسخ ممكنة، فإن الشعار الذي ستردد يصبح ببساطة: (الكل ينال حسب رغبته).

وتحذر الإشارة إلى أن هناك أسلوباً ثالثاً لبحث هذه المسألة. فوفق قاعدة رجل الكهف، لم تتغير السمات الشخصية الأساسية للبشر كثيراً خلال المئة ألف عام الماضية. ففي ذلك التاريخ السحيق، لم يكن هناك ما يعرف بالوظيفة. ويقول علماء الأنثروبولوجي إن المجتمعات البدائية كانت شيوعية إلى حد كبير؛ تتقاسم السلع والمعانة بالتساوي. ولم تكن الإيقاعات اليومية محكومة بوظيفة وأجر، إذ لم يكن أي من هذين الاثنين موجوداً وقتئذ.

والحقيقة أن الناس وقتها لم يتحولوا إلى كسالى، لأسباب عدة. أولاً، إنهم كانوا سيتضورون جوعاً حتى الموت لو حدث ذلك. فأولئك الذين لا يؤدون نصيبهم من العمل كانوا ببساطة يطردون من القبيلة، وسرعان ما يهلكون بعدها. ثانياً، إن الناس صاروا يتباهون بعملهم، بل ويجدون في المهام التي يؤدونها معنى وقيمة. ثالثاً، كانت هناك ضغوط اجتماعية هائلة على الفرد لكي يظل عضواً منتجاً في المجتمع. فالأفراد المنتجون صاروا في إمكانهم أن يتزوجوا حتى ينقلوا صفاتهم الوراثية للجيل التالي، أما جينات الكسالى فعادة كانت تموت معهم.



لكن لماذا يعيش الناس حياة إنتاجية عند ابتكار أجهزة النسخ التي ستجعل كل فرد قادراً على الحصول على أي شيء يريد؟ إن أجهزة النسخ سوف تضمن ألا يتضور أي إنسان جوعاً. لكن معظم الناس سوف يستمرون في العمل، على الأرجح، لأنهم فخورون بمهاراتهم ويجدون معنى لما يقومون به من عمل. أما مسألة الضغوط الاجتماعية فسيكون من الصعب الحفاظ عليها دون انتهاك للحريات الشخصية. ومن المحتمل أن يكون هناك تحول رئيسي في التعليم نحو تغيير مواقف الناس تجاه العمل والمكافأة عليه، بدلاً من هذه الضغوط، بحيث لا يساء استغلال جهاز النسخ.

ولما كان التقدم سيصير بطيئاً، لحسن الحظ، وجهاز النسخ يعد عنا قرناً من الزمان، فإنه ما يزال أمام المجتمع متسع من الوقت لكي يتجادل بشأن مزايا وتطبيقات تلك التقنية والتكيف مع واقع جديد حتى لا ينهار المجتمع.

وأغلب الظن أن أول أجهزة النسخ سوف تكون باهظة التكلفة. وحسبما يقول خبير الروبوتيكس بمعهد ماساشوستس للتكنولوجيا رودني برووكس Rodney Brooks: (سوف تزدهر تكنولوجيا النانو، على نحو يشبه كثيراً ازدهار الطباعة الضوئية photolithography؛ في ظروف باهظة التكلفة، خاضعة للسيطرة، وليس باعتبارها تكنولوجيا للتسويق العام). ولن تمثل مشكلة السلع المجانية غير المحدودة مشكلة كبيرة. فنظر التعقيد تلك الماكينات، قد يستغرق الأمر عقوداً كثيرة بعد صنع أول جهاز منها حتى تنخفض تكلفة إنتاجها.

وقد دار حوار شائق ذات يوم بيني وبين جاميز كاشيو Jamais Cascio،

وهو من رواد المستقبلين وصاحب تاريخ طويل من التأملات الفكرية حول الخطوط العريضة للمستقبل. وأولاً، قال لي إنه متشكك في نظرية (التفرد) التي تحدثنا عنها في الفصل الثاني، مؤكداً أن الطبيعة الإنسانية والقوى الديناميكية الاجتماعية شديدة التداخل والتعقيد ولا يمكن التنبؤ بها، وبالتالي لا يمكن وضعها في قالب نظري بسيط ومرتب. لكنه في الوقت نفسه أقر بأن التطورات غير العادية في تكنولوجيا النانو قد تخلق في نهاية المطاف، مجتمعاً يتمتع بوفرة مفرطة في السلع، لاسيما في ظل وجود أجهزة النسخ والروبوتات. لذا سألته: كيف سيتصرف المجتمع عندما تصبح السلع شبه مجانية، وعندما يصبح المجتمع أخيراً من الثراء بحيث لا تعود هناك ضرورة للعمل؟

قال لي إن هناك أمرين سيحدثان. أولاً، إنه يظن أنه ستكون هناك ثروة كافية تضمن حداً أدنى كريماً من الدخل للجميع، حتى إذا لم يعملوا. لهذا ربما توجد حينئذ نسبة من الناس الذين سيتكاسلون للأبد. وتوقع كاشيو أن تظهر شبكة أمان دائمة للمجتمع. وقد يكون هذا أمراً غير مستحب، لكنه لا مفر منه، لاسيما إذا كانت أجهزة النسخ والروبوتات تلبّي لنا جميع احتياجاتنا المادية. ثانياً، سيتم تعويض هذا، حسب ظنه، عن طريق ثورة في روح الاستثمار والمشاريع. فبعد أن يتحرر الإنسان من الخوف من الانغماس في الفقر والخراب، سيصبح لدى الكثير من رجال الصناعة مزيد من المبادرة والرغبة في خوض العديد من المخاطر لخلق صناعات جديدة وفرص جديدة للآخرين. كما توقع أيضاً نهضة جديدة للمجتمع، بعد تحرر روح الإبداع من الخوف من الإفلاس.

وفي مجال عملي، علم الفيزياء، أرى أن معظمنا يرتبط بالفيزياء ليس من أجل المال، وإنما من أجل متعة الاكتشاف والابتكار. فكثيراً ما تغاضينا عن قبول وظائف أخرى يسيل لها اللعاب في ميادين أخرى لأننا نسعى وراء حلمنا، لا وراء الدولار. والفنانون والمفكرون الذين أعرفهم يشعرون هم أيضاً بالشعور ذاته؛ إن هدفهم ليس حشد المال لتكوين أضخم حساب بنكي يمكنهم جمعه، وإنما أن يكونوا مبدعين وأن يرتقوا بنبيل الروح الإنسانية.

أما عن رأيي الشخصي، فإذا صار المجتمع عام 2100 من الثراء بحيث أصبحنا محاصرين بالثروة المادية، فإنني أشعر أن المجتمع قد يتفاعل بأسلوب مماثل. بالطبع سوف تشكل نسبة من الناس طبقة دائمة ممن يرفضون العمل ببساطة. لكن هناك فئة أخرى قد تتحرر من عراقيل الفقر وتسعى وراء تحقيق إنجازات علمية وفنية خلاقية. وبالنسبة لهؤلاء، سوف تكون البهجة الغامرة التي يشعرون بها لكونهم مبدعين ومبتكرين وفنانين أهم بكثير من إغراء العالم المادي. بيد أن الغالبية سوف تظل تعمل وسوف تظل نافعة لمجرد أن هذا جزء من إرثها الجيني، وأعني بهذا قانون إنسان الكهف الموجود بداخلنا.

وعلى أية حال، هناك مشكلة واحدة لا يمكن حتى لأجهزة النسخ حلها، ألا وهي: مشكلة الطاقة. إن كل هذه التقنيات الإعجازية بحاجة لمقادير هائلة من الطاقة لدفعها للأمام. فمن أين ستأتي كل تلك الطاقة؟

## الفصل الخامس



## مستقبل الطاقة.. طاقة من النجوم

«لم ينته العصر الحجري بسبب نفاد الأحجار؛ لكن عصر النفط سوف ينتهي قبل وقت طويل من نفاد النفط من العالم»

- جيمس كانتون<sup>(1)</sup>

«في تقديري، يقف (الاندماج) على قدم المساواة في الأهمية مع هبة اكتشاف النار قديما في عصور ما قبل التاريخ»

- بن بوبا<sup>(2)</sup>

كانت النجوم مصدر الطاقة للآلهة. فعندما كان (أبولو) (إله الشمس عند الإغريق) يجوب السماء في عربة تجرها خيول تنفث النار، أضاء السماء والأرض بالطاقة اللانهائية للشمس. ولم تكن هناك قوة تنافس قوته سوى قوة زيوس (كبير الآلهة) نفسه. وذات مرة، عندما توسلت الأميرة (سيميلي) - وهي إحدى عشيقات زيوس الكثيرات من البشر - أن تراه في صورته الحقيقية، أجابها لذلك كارها (إذ كان قد وعدّها بتلبية أي مطلب لها)؛ وكانت النتيجة أن أحرّقها انفجار الطاقة الكونية الهائلة

(1) جيمس كانتون James Canton: كاتب ومؤلف مستقبلي شهير، وعالم اجتماع. ظل منشغلا طوال ثلاثين عامًا يتنبأ ببصيرة نافذة بالميول الأساسية التي شكلت عالمنا اليوم. وهو مؤلف لعدة روايات حققت نجاحًا كبيرًا. (المترجم)  
(2) بن بوبا Ben Bova: كاتب ومحرر خيال علمي أمريكي شهير، حاصل على العديد من الجوائز عن أعماله في مجلة (أنالوج ساينس فيكشن) Analog Science Fiction. (المترجم)

الذي حدث وحولها إلى هشيم.

وفي هذا القرن من الزمان، سوف نستغل قوة النجوم باعتبارها مصادر الطاقة للآلهة. وعلى المدى القصير، يعني هذا دخول عصر الطاقة الشمسية/الهيدروجينية التي ستحل محل الوقود الأحفوري. لكنه على المدى البعيد يعني استغلال طاقة الاندماج النووي، بل واستغلال الطاقة الشمسية من الفضاء الخارجي. ويمكن لخطوات متقدمة أخرى في الفيزياء أن تؤدي بنا إلى عصر المغناطيسية الذي ستسبح فيه السيارات والقطارات وحتى ألواح التزلج في الهواء على وسادة مغناطيسية. ويمكن أن ينخفض استهلاكنا للطاقة بشدة، إذ إن كل الطاقة المستخدمة في السيارات والقطارات تقريبا تُستهلك في التغلب على احتكاك الطريق.

## هل هي نهاية عصر النفط؟

يقترن عالمنا اليوم على نحو كامل بالوقود الأحفوري، في صورة: نفط، وغاز طبيعي، وفحم. فالعالم كله مجتمعا يستهلك نحو 14 تريليون واط من الطاقة؛ تأتي نسبة 33 في المائة منها من النفط، و25 في المائة من الفحم، و20 في المائة من الغاز، و7 في المائة من المفاعلات النووية، و15 في المائة من الكتلة البيولوجية والطاقة الكهربائية المائية، ونسبة زهيدة لا تزيد عن 0.5 في المائة من النظام الشمسي ومصادر الطاقة المتجددة.

ومن دون الوقود الأحفوري سوف يتوقف اقتصاد العالم توقفا مباغتاً. وقد كان إم. كينج هوبرت M. King Hubbert، أحد مهندسي البترول في شركة شيل أويل Shell Oil، واحداً ممن تنبئوا بوضوح بنهاية عصر

النفط. ففي عام 1956، ألقى هوبرت خطاباً واسع الأثر أمام المؤسسة الأمريكية للبترول American Petroleum Institute، ملقياً بنبوءة مزعجة استهزأ بها زملاؤه في جميع أنحاء العالم في ذلك الوقت. وكانت نبوءته تلك أن احتياطيات النفط لدى الولايات المتحدة تُستنزف بسرعة كبيرة إلى حد أنه سرعان ما ستكون أمريكا قد استخرجت 50 في المائة من النفط من باطن الأرض، وهو ما سيبدأ حقبة من التدهور المستمر غير القابل للإصلاح في وقت ما بين عامي 1965 و1971. لقد رأى أن إجمالي كمية النفط في الولايات المتحدة يمكن تمثيله في صورة منحنى جرسى، وأنا كنا في ذلك الوقت بالقرب من قمة هذا المنحنى. ومن ثم، تنبأ أنه منذ ذلك الوقت فصاعداً لن تزيد الأمور إلا تدهوراً. وكان هذا يعني زيادة صعوبة استخراج النفط وتكريره، وأن يحدث ما لا يتصوره أحد؛ وهو أن تبدأ الولايات المتحدة في استيراد النفط.

وفي ذلك الوقت، بدت نبوءة هوبرت طائشة هوجاء، بل حتى مستغربة وغير مسؤولة، إذ كانت الولايات المتحدة مستمرة في ضخ كميات هائلة من النفط من ولاية تكساس وغيرها من الأماكن في هذه البلاد. لكن مهندسي البترول توقفوا الآن عن السخرية من تلك النبوءة؛ فلقد أصابت نبوءة هوبرت كبداً للحقيقة. وبحلول عام 1970، وصل إنتاج النفط الأمريكي ذروة قدرها 10.2 مليون برميل يومياً، ثم بدأ في الهبوط، ولم يعد لسابق عهده بعدها قط. واليوم، أصبحت الولايات المتحدة تستورد 59 في المائة من النفط الذي تستخدمه. ولو أنك قارنت رسماً بيانياً لتقديرات هوبرت التي وضعها منذ عقود خلت من الزمان برسم آخر لإنتاج النفط



الفعلي للولايات المتحدة حتى عام 2005، فستجد أن المنحنيين يكادان يكونان متطابقين.

والسؤال الجوهرى الذي يواجه مهندسى البترول الآن: هل وصلنا لذروة منحنى هوبرت فيما يتعلق باحتياطيات النفط العالمية؟ فقد تنبأ هوبرت أيضا في ذلك الوقت، عام 1956، بأن إنتاج النفط العالمى سيصل إلى الذروة خلال خمسين عاما. ومن المحتمل أن يكون على حق كذلك في هذا الأمر. تُرى عندما يتذكر أبنائنا تلك الحقبة من الزمان، هل سينظرون للوقود الأحفورى بالطريقة ذاتها التى ننظر بها نحن اليوم لزيت الحوت؟ أي باعتباره مجرد أثر باق من الماضي البعيد؟

لقد أقيمت العديد من المحاضرات في المملكة العربية السعودية وفي جميع أنحاء الشرق الأوسط، متحدثا عن العلم والطاقة والمستقبل. ومن المعلوم أن المملكة العربية السعودية تمتلك 267 مليار برميل من النفط، لذا فإن هذا البلد يبدو كأنه يعوم على بحيرة ضخمة من النفط الخام تحت الأرض. وعند التنقل عبر أنحاء المملكة العربية السعودية ودول الخليج العربى، أرى إهدارا هائلا للطاقة؛ إذ تتفجر ينابيع ضخمة من الماء صانعة بركا وبحيرات صناعية هائلة في وسط الصحراء. بل إن في دُني منحدر تزلج جليدي مغلقا يحتوي على آلاف الأطنان من الجليد الصناعى، في تحدٍ مطلق للحر القاتل المهيمن بالخارج على البيئة الطبيعية.

غير أن وزراء النفط يشعرون الآن بالقلق. فوراء كل الخطابات البلاغية التى تتحدث عن (احتياطيات النفط المؤكدة) التى من المفترض أن تُطمئننا أن لدينا وفرة من النفط تكفي لعقود وعقود تالية، هناك إدراك أن العديد من

تلك الأرقام النفطية الرسمية ما هي إلا شكل مُضلل من الادعاء الكاذب. إن (احتياطيات النفط المؤكدة) تبدو موثوقة وحاسمة على نحو مُطمئن، إلى أن تدرك أن أرقام الاحتياطيات غالبا ما تكون من صنع التفكير المتمني المتفائل لوزراء النفط المحليين والضغط السياسي الذي يمارس عليهم. ومن خلال التحدث مع خبراء الطاقة، استطعت أن ألاحظ ما يشبه الإجماع على أننا: إما وصلنا بالفعل لذروة منحني هوبرت فيما يتعلق بإنتاج النفط العالمي، وإما أننا على بعد عقد واحد من بلوغ تلك النقطة المصيرية الحاسمة. ويعني هذا أننا في المستقبل القريب قد ندخل فترة من الانحدار غير القابل للإصلاح.

لن ينفد النفط المتاح للبشرية على نحو مطلق بالطبع؛ فهناك حقول نفط تُكتشف كل يوم، لكن تكاليف استخراج وتكرير النفط الموجود في تلك الحقول سترتفع بالتدريج بسرعة هائلة. فكندا، على سبيل المثال، تمتلك حقولا ضخمة من الرمال المشبعة بالقيح، وهي كافية لتزويد العالم باحتياجاته من النفط لعقود تالية، غير أن تكلفة استخراج النفط وتكريره منها باهظة. والأرجح أن الولايات المتحدة تمتلك احتياطيات من الفحم تكفي لمدة 300 سنة، لكن هناك قيودا قانونية على استخراجها، كما أن تنقيتها من كل الملوثات الصلبة والغازية أمر عسير وهائل التكلفة.

علاوة على ذلك، يستمر النفط في الظهور في مناطق مضطربة سياسيا من العالم، مما يسهم في عدم الاستقرار الخارجي. وعند تمثيل أسعار النفط على رسم بياني عبر العقود، سنجد أنها أشبه بقطار ملاحٍ أخذ في الارتفاع والانخفاض على نحو حاد مفاجئ؛ إذ وصلت الأسعار إلى ذروتها بقيمة

مدهشة بلغت 140 دولارا للبرميل عام 2008 (وأكثر من 4 دولارات للجالون في محطات الوقود)، ثم تراجعت بحدة بسبب الأزمة الاقتصادية العالمية. ورغم التقلبات الجارحة بسبب الاضطرابات السياسية، والتوقعات الاقتصادية، والشائعات وما إلى ذلك، فهناك شيء واحد واضح تماما، وهو أن متوسط سعر النفط سيواصل الارتفاع على المدى البعيد. وسوف يكون لهذا آثاره العميقة على الاقتصاد العالمي. فالنهضة السريعة للحضارة الحديثة خلال القرن العشرين كان وقودها شيئين: النفط زهيد السعر، و(قانون مور) Moore's law. ومع ارتفاع أسعار الطاقة، يزداد الضغط على إمدادات الغذاء في العالم، وتقل فرص السيطرة على التلوث والحد منه. وكما قال الروائي جيرى بورنيلي Jerry Pournelle، فإن (الغذاء والتلوث ليسا مشكلتين رئيسيتين: إنهما مشكلتنا طاقة. فإذا استطعنا توليد طاقة كافية، فسوف نتمكن من إنتاج أي قدر نريده من الغذاء - إذا اقتضت الحاجة - بواسطة الوسائل العالية الكثافة الإنتاجية، كالزراعة في الماء<sup>(1)</sup> hydroponics والصوب الزجاجية greenhouses. وكذلك الحال مع مشكلة التلوث؛ فلو أننا استطعنا توليد طاقة كافية، لأمكننا تحويل المواد الملوثة إلى منتجات طيبة ومفيدة. وإذا اقتضى الأمر، يمكننا تحليلها إلى عناصرها الأساسية).

(1) الزراعة في الماء hydroponics: الزراعة من دون تربة. وتزرع النباتات من خلالها في سائل مكون من ماء ومحلول مغذ (سائل يحتوي على المواد الغذائية الأساسية التي يحتاجها النبات). ويتميز هذا النظام بأنه لا يحتاج للتربة والسماد وغيرها، بل يعتمد بشكل أساسي على المحلول. ويتميز أيضا بإنتاج محاصيل بكميات أكبر في فترة أوجز. أما سلبياته فتمثل في ارتفاع تكلفته. (المترجم)

كما أننا نواجه مشكلة أخرى، ألا وهي: انبثاق الطبقة الوسطى في الصين والهند، وهو أحد التغيرات الديموغرافية الكبرى في حقبة ما بعد الحرب؛ ما فرض ضغطاً هائلاً على أسعار النفط والسلع الأخرى. فعندما يرى هؤلاء شطائر هامبرجر ماكدونالدز ومرآب السيارات المنزلية التي تتسع لسيارتين في أفلام هوليوود، فإنهم أيضاً يرغبون في عيش الحلم الأمريكي المتمثل في استهلاك الطاقة بإسراف.

## المستقبل القريب (من الوقت الحاضر حتى عام 2030)

### الاقتصاد الشمسي/الهيدروجيني

في هذا الصدد، يبدو التاريخ كأنه يعيد نفسه. ففي أوائل القرن العشرين، تراهن كل من هنري فورد Henry Ford وتوماس إديسون Thomas Edison، وهما اثنان ظلاً أصدقاء لفترة طويلة جداً، على نوع المصدر الذي يمكن أن يزود البشر بالطاقة في المستقبل. فراهن فورد على أن النفط سيحل محل الفحم، وأن محركات الاحتراق الداخلي ستحل محل المحركات البخارية. وراهن إديسون على السيارة الكهربائية. وكان هذا رهانا محسوما تركت نتيجته أثراً عميقاً في تاريخ العالم. وقد بدا لبعض الوقت أن إديسون سيربح الرهان، إذ كان الحصول على زيت الحوت لا يتأتى إلا بصعوبة بالغة. غير أن الاكتشاف السريع لحقول النفط الرخيص في الشرق الأوسط وغيره من الأماكن حول العالم سرعان ما حول الدفة ليفوز فورد بالرهان. ولم يعد العالم لسابق عهده منذ ذلك الوقت قط. ولم تستطع البطاريات الكهربائية مجاراة النجاح المدوي للبنزين (حتى في يومنا هذا، يحتوي البنزين على ما يقرب من أربعين ضعف الطاقة التي تولدها البطاريات، مقابل الثمن نفسه).

لكن الدفة الآن تتحول مرة أخرى ببطء. ولعل إديسون سيكون الفائز في النهاية، بعد مرور قرن من الزمان على هذا الرهان.

والسؤال الذي يُطرح في أروقة الحكومة والصناعة: ما الذي سيحل محل النفط؟ والواقع أنه ليست هناك إجابة واضحة عن هذا السؤال. فعلى المدى القريب، ما من بديل فوري للوقود الأحفوري. والمرجح بشدة أنه سيكون هناك مزيج من مصادر الطاقة، دون أن يهيمن أحدها على البقية. غير أن خليفة النفط المتوقع والمبشر أكثر من غيره هو الطاقة الشمسية/الهيدروجينية (معتمدة على تقنيات متجددة، مثل: طاقة الشمس، وطاقة الرياح، والطاقة الكهربائية المائية، والهيدروجين).

وفي الوقت الحالي، تبلغ تكلفة الكهرباء المولدة من الخلايا الشمسية عدة أضعاف ثمن الكهرباء المولدة من الفحم. إلا أن تكلفة الطاقة الشمسية/الهيدروجينية آخذة في الانخفاض باستمرار بسبب الابتكارات التكنولوجية الثابتة والمستمرة، في حين تواصل تكلفة الوقود الأحفوري ارتفاعها البطيء. وهناك تقديرات بأن المنحنيين سيتقاطعان في غضون عشر سنوات أو خمس عشرة سنة من الآن. وحينها ستتكفل قوى السوق بالباقي.

## طاقة الرياح

على المدى القصير، ستحقق مصادر الطاقة المتجددة، مثل طاقة الرياح، نصرا كبيرا. فعلى نطاق عالمي، زاد حجم توليد الطاقة من الرياح من 17 مليار واط عام 2000 إلى 121 مليار واط عام 2008. نعم، لقد أصبحت طاقة الرياح - التي اعتُبرت في وقت من الأوقات عنصرا ضئيل القيمة - ذات أهمية متزايدة. فقد أدت التطورات الحديثة في تكنولوجيا توربينات

الرياح إلى زيادة كفاءة وإنتاجية حقول توليد الطاقة من الرياح، التي تعد أحد أسرع القطاعات نمواً في سوق الطاقة.

إن حقول توليد الطاقة من الرياح اليوم تختلف كثيراً عن طواحين الهواء القديمة التي كانت تزود المزارع والمطاحن بالطاقة في القرن التاسع عشر. فيمكن لمولد واحد للطاقة من الرياح أن ينتج 5 ميجاوات من الطاقة النظيفة الآمنة، وهو قدر من الطاقة يكفي احتياجات قرية صغيرة. ويتكون توربين الرياح من مجموعة شفرات مصقولة عملاقة، يبلغ طول الواحدة منها 100 قدم، وهي تدور بلا أدنى احتكاك تقريباً. وتولد توربينات الرياح الطاقة الكهربائية بنفس طريقة مولدات السدود المائية الكهربائية والدراجات الهوائية. فالحركة الدائرية تدير مغناطيساً داخل ملف؛ فيدفع المجال المغناطيسي الدوار الإلكترونات<sup>(1)</sup> داخل الملف مولداً تياراً من الطاقة الكهربائية. ويمكن لحقل واحد كبير من حقول توليد الطاقة بالرياح، يتكون من 100 طاحونة رياح، أن يولد 500 ميجاوات، وهو قدر معقول بالمقارنة بما قيمته 1000 ميجاوات يولدها مصنع واحد لحرق الفحم أو لتوليد الطاقة النووية.

وعلى مدار العقود القليلة الماضية، كانت أوروبا رائدة العالم في تكنولوجيا توليد الطاقة بواسطة الرياح. لكن الولايات المتحدة الأمريكية تفوقت مؤخراً في هذا المجال. ففي عام 2009، أنتجت الولايات المتحدة

(1) الإلكترون (electron): رمزه: (e) جسيم دون ذري كروي الشكل تقريباً، مكون للذرة ويحمل شحنة كهربائية سالبة. ولم يكن من المعروف بأن لديها مكونات أو جسيمات أصغر، لذا فقد اعتبرت بأنها جسيمات أولية. فالإلكترون لديه كتلة تعادل تقريباً 1/1836 من كتلة البروتون. (المترجم)

28 مليار واط باستخدام هذه الطاقة. وقد ساهمت ولاية تكساس وحدها بـ 8 مليارات واط منها، وهناك حقول أخرى تحت الإنشاء يمكنها توليد مليار واط أخرى، والمزيد منها ما يزال في مرحلة التطوير. وإذا سارت الأمور كما هو مخطط لها، فسوف تنتج تكساس 50 مليار واط من الطاقة الكهربائية المتولدة عن طاقة الرياح، وهو قدر أكثر من كاف لتلبية احتياجات سكان الولاية البالغ عددهم 24 مليون نسمة.

وسوف تتفوق الصين قريباً على الولايات المتحدة في توليد الطاقة من الرياح؛ فبرنامجها لتوليد الطاقة بواسطة الرياح سينشئ ستة حقول رياح بقدرة توليد تبلغ 127 مليار واط.

ورغم أن طاقة الرياح تبدو جذابة على نحو متزايد، ولا شك أنها ستتمو في المستقبل، فإنها لا تستطيع تزويد العالم بالجزء الأكبر من الطاقة التي يحتاجها. وفي أفضل الأحوال، ستكون طاقة الرياح جزءاً مكملًا ضمن مزيج أكبر من مصادر الطاقة. ذلك أن توليد الطاقة من الرياح أمر يواجه العديد من المشاكل؛ فالطاقة التي تولدها الرياح طاقة متقطعة لا يمكن توليدها إلا عندما تهب الرياح، ولا يمكن توليدها سوى في بضع مناطق أساسية حول العالم. كما أن حقول توليد تلك الطاقة لا بد أن تكون قريبة من المدن بسبب الخسائر الناتجة عن نقل الكهرباء، وهو ما يزيد من تحجيم فائدتها.

## الطاقة الشمسية

تنبع جميع أنواع الطاقة في الأساس من الشمس. فحتى النفط والفحم يمكن اعتبارهما - من أحد الوجوه - صورة من ضوء الشمس المكثف،



إذ يمثّلان الطاقة التي امتلكتها النباتات والحيوانات منذ ملايين السنين. ونتيجة لذلك، فإن قدر الطاقة المستمدة من ضوء الشمس المكثف الذي يحتوي عليه جالون واحد من البنزين أكبر بكثير من الطاقة التي يمكننا تخزينها في بطارية كهربائية. وكانت تلك هي المشكلة الكبرى التي واجهت توماس إديسون في القرن الماضي، وهي المشكلة ذاتها التي نواجهها اليوم.

وتعمل الخلايا الشمسية عن طريق تحويل ضوء الشمس مباشرة إلى كهرباء. (شرح أينشتاين Einstein هذه العملية عام 1905. فعندما يصطدم جسيم من الضوء، أو فوتون <sup>(1)</sup> photon، بجسم معدني فإنه يزيح إلكترونًا، وبهذا ينشئ تيارًا كهربائيًا).

غير أن الخلايا الشمسية لا تتسم بالكفاءة. فحتى بعد عقود من الجهد الشاق الذي بذله المهندسون والعلماء، فإن كفاءة الخلايا الشمسية تتأرجح حول نسبة 15 في المائة. لذا فقد اتخذت الأبحاث اتجاهين؛ الاتجاه الأول: زيادة كفاءة الخلايا الشمسية، وتلك مشكلة فنية في غاية الصعوبة. والاتجاه الآخر: تقليل تكلفة تصنيع وتركيب وإنشاء محطات الخلايا الشمسية.

وعلى سبيل المثال، قد يمكننا تلبية الاحتياجات الكهربائية للولايات المتحدة الأمريكية كلها عن طريق تغطية ولاية أريزونا كاملة بالخلايا الشمسية، وهو أمر غير عملي صعب التنفيذ. بيد أن حقوق ملكية أجزاء

(1) الفوتون photon: الجسيم الأولي المسؤول عن الظواهر الكهرومغناطيسية، والوحدة الأساسية للضوء وجميع أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي الأخرى. ويحمل الفوتون موجات كل أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي. ويتسم الفوتون بأنه معدوم كتلة السكون، ومعدوم الشحنة الكهربائية، بالإضافة لكونه ينتقل في الفراغ بسرعة الضوء. (المترجم)

كبيرة من الصحراء الكبرى أصبحت فجأة موضوعا جدليا مثيرا. وقد بدأ المستثمرون بالفعل في إنشاء محطات شمسية ضخمة في الصحراء لتلبية احتياجات المستهلكين الأوروبيين.

وفي المدن، قد نستطيع تقليل تكلفة الطاقة الشمسية بتغطية أسطح البيوت والمباني بالخلايا الشمسية. وسيكون لهذا العديد من المزايا، ومن بينها تجنب الخسائر التي تحدث أثناء نقل الطاقة من محطة مركزية لتوليد الطاقة. ولا شك أن المشكلة الحقيقية تكمن في إمكانية تخفيض النفقات. فعملية حسابية بسيطة ستبين لنا الحاجة لاستغلال كل دولار بفعالية لكي نحقق تلك المشاريع أرباحا.

ورغم أن الطاقة الشمسية لم ترتق بعد إلى تحقيق ما هو مأمول منها، فإن الاضطراب الحالي في أسعار النفط استحث الجهود من أجل طرح الطاقة الشمسية في الأسواق أخيرا. وربما تتغير الأحوال؛ فالأرقام القياسية تتحطم كل بضعة أشهر قليلة، وإنتاج الفولتية الشمسية يزداد بنسبة 45 في المائة سنويا، أي أنه يكاد يتضاعف كل عامين. وعلى مستوى العالم أجمع، وصل مقدار الطاقة الكهربائية المتولدة من الضوء الآن إلى 15 مليار وات. (نما هذا المقدار بقيمة 5.6 مليارات وات في عام 2008 وحده).

وقد أعلنت شركة (فلوريدا باور أند لايت) Florida Power & Light لإنتاج الطاقة والضوء، عام 2008، عن مشروع لبناء أكبر محطة للطاقة الشمسية في الولايات المتحدة. ففازت بهذا التعاقد شركة (صان باور) SunPower التي تخطط لتوليد 25 ميجاوات من الطاقة. (صاحب الرقم القياسي في الولايات المتحدة الأمريكية قاعدة نيليز للقوات الجوية، في

نيفادا، التي تمتلك محطة تولد 15 ميجاوات من الطاقة الشمسية). كما ستنشئ شركة (برايت سورس) BrightSource محطة (إيفانبا) Ivanpah الشمسية التي تتكون من ثلاثة مصانع شمسية حرارية ستقام في جنوب كاليفورنيا، وستولد 440 ميجاوات من الطاقة. وفي مشروع مشترك مع شركة (باسيفيك جاس أند إلكتريك) Pacific Gas and Electric، تخطط شركة برايت سورس لبناء محطة بطاقة 1.3 مليار واط في صحراء موهافي Mojave Desert.

وفي عام 2009، أعلنت شركة (فيرست سولار) First Solar، وهي كبرى شركات العالم في تصنيع الخلايا الشمسية، أنها ستبني أكبر محطة للطاقة الشمسية في العالم شمال سور الصين العظيم مباشرة. ويتصور العقد الممتد لعشر سنوات - والذي ما يزال التفاوض على بنوده وتفاصيله مستمرا - بناء مجمع مصانع عملاق للطاقة الشمسية، يضم 27 مليون شراع رقيق من الألواح الشمسية التي ستولد 2 مليار واط من الطاقة؛ أي ما يعادل طاقة مصنعين من مصانع حرق الفحم، وهو ما سينتج طاقة كافية لتزويد 3 ملايين منزل باحتياجاتها من الطاقة. وسيتم بناء المحطة - التي ستغطي مساحة خمسة وعشرين ميلا مربعا - في قلب منغوليا، وهي في واقع الأمر مجرد جزء من مشروع أكبر كثير التوليد الطاقة. ويقول المسؤولون الصينيون إن الطاقة الشمسية مجرد عنصر واحد من عناصر هذا المشروع الذي سيوفر في النهاية 12 مليار واط من خلال طاقة الرياح، والطاقة الشمسية، والكتلة البيولوجية، والكهرباء المائية.

وسوف يتكشف لنا مع مرور الوقت ما إذا كانت تلك المشاريع الطموحة

ستتغلب في النهاية على تحدي الفحوص البيئية والتكاليف الزائدة أم لا. بيد أن الثابت أن الاقتصاديات الشمسية تتعرض تدريجياً لتغيرات هائلة؛ ذلك أن شركات الطاقة الشمسية أصبحت تنظر لهذا النوع من الطاقة جدياً باعتباره منافساً للوقود الأحفوري.

## السيارة الكهربائية

لما كانت السيارات، والشاحنات، والقطارات، والطائرات تستهلك نحو نصف إنتاج العالم من النفط، فهناك استفادة كبيرة يمكن أن تترتب على إصلاح هذا القطاع الاقتصادي. وهناك الآن سباق لمعرفة من الذي سيهيمن على مستقبل المركبات الأوتوماتيكية، بينما تتمر الأمم بالتحول التاريخي من الوقود الأحفوري إلى الكهرباء. وهناك مراحل عديدة لهذا التحول: المرحلة الأولى هي مرحلة السيارة الهجين، وهي موجودة بالفعل في الأسواق، وتستخدم مزيجاً من الكهرباء المستمدة من البطاريات والبنزين. ويستخدم هذا التصميم محرك احتراق داخلي صغيراً لحل المشكلات القديمة للبطاريات (فمن الصعب صنع بطارية يمكنها العمل لمسافات طويلة بالإضافة إلى توفير تسارع فوري).

غير أن مرحلة الهجين مجرد خطوة أولى. فالسيارة الهجين المزودة بالكهرباء تحتوي على بطارية قوية بما يكفي لتسيير السيارة بالطاقة الكهربائية مسافة أول خمسين ميلاً أو نحو ذلك، قبل أن يصبح من الضروري أن تتحول السيارة إلى محركها الذي يعمل بالبنزين. وحيث إن معظم الناس يقومون بتنقلاتهم من وإلى العمل، ومن أجل التسوق، في

إطار خمسين ميلا، فهذا يعني أن تلك السيارات تعمل بالكهرباء وحدها خلال هذا الوقت.

وتعد سيارة (شيفي فولت) Chevy Volt، من إنتاج شركة (جنرال موتورز) General Motors، أحد الإسهامات الرئيسة في سباق تصنيع المركبات الهجين المزودة بالكهرباء. وتعمل هذه السيارة في نطاق 40 ميلا باستخدام بطارية لثيوم - أيون، ونطاق 300 ميل باستخدام محرك البنزين الصغير.

وهناك أيضا سيارة (تيسلا رودستر) Tesla Roadster التي لا تحتوي على محرك بنزين على الإطلاق. وقد صنعت هذه السيارة شركة (تيسلا موتورز) Tesla Motors، وهي إحدى شركات وادي السليكون، والشركة الوحيدة في أمريكا الشمالية التي تباع السيارات الكهربائية بالكامل في سلسلة إنتاج متوالية. والسيارة (رودستر) تلك هي سيارة رياضية أنيقة يمكنها منافسة أي سيارة تعمل بالبنزين على نحو يهدم فكرة أن بطاريات الليثيوم - أيون الكهربائية لا يمكنها منافسة المحركات التي تعمل بالبنزين. ولقد واتتني فرصة قيادة سيارة (تيسلا) ذات مقعدين، مملوكة لجون هيندرريكس John Hendricks، مؤسس شركة (ديسكفري كومونيكشنز) Discovery Communications، وهي الشركة الأم لقناة (ديسكفري تشانيل) Discovery Channel. وعندما جلست في مقعد القيادة، حثني السيد هيندرريكس على ضغط دواسة الوقود بكل قوتي لاختبار قوة سيارته. وعملا بنصيحته، اعتصرت دواسة الوقود حتى النهاية؛ وعلى الفور شعرت بقوة الاندفاع المفاجئ للطاقة، وغاص جسدي في المقعد

عندما وصلت لسرعة 60 ميلا في الساعة خلال 3.9 ثوانٍ فقط. وعندها، تيقنت أن سماع مهندس يتحدث متباهيا عن أداء السيارات التي تعمل بالكهرباء بالكامل شيء، وتجربة السيارة وضغط دواسة الوقود والشعور بقوة أدائها بنفسك شيء آخر مختلف تماما.

وقد أجبر التسويق الناجح للسيارة (تيسلا) شركات السيارات الكبرى المهيمنة على سوق السيارات على محاولة اللحاق بالركب، بعد عقود طويلة من ازدهار السيارة الكهربائية. ويحكى أن روبرت لوتز Robert Lutz، عندما كان نائب رئيس شركة جنرال موتورز، قال: (كل العباقرة هنا في جنرال موتورز ظلوا يقولون إن تكنولوجيا الليثيوم - أيون أمامها عشر سنوات لتتطور بفعالية، ووافقنا تويوتا الرأي. وفجأة، ظهرت تيسلا! لذا قلت: <كيف حدث أن شركة ناشئة صغيرة في كاليفورنيا، يديرها أفراد لا يعرفون شيئا عن مجال السيارات، تستطيع فعل هذا ولا نستطيع نحن؟>.

وتحاول شركة (نيسان موتورز) Nissan Motors طرح السيارة الكهربائية بالكامل في الأسواق للمستهلكين العاديين. وتسمى سيارتها (ليف) Leaf، وهي ذات نطاق يصل إلى 100 ميل، وسرعة قصوى تبلغ تسعين ميلا في الساعة.

وبعد السيارة التي تعمل بالكهرباء بالكامل، هناك سيارة أخرى سوف تظهر في النهاية في صالات العرض، وهي سيارة خلية الوقود (fuel cell

(1) سيارة خلية الوقود (fuel cell car): سيارة تعمل بمحرك هيدروجيني، تستخدم خلية وقود لتوليد الكهرباء لتزويد محركها الكهربائي بالطاقة. (المترجم)

car التي تسمى أحيانا بسيارة المستقبل. ففي يونيو عام 2008، أعلنت شركة (هوندا موتور كومباني) Honda Motor Company أول ظهور لأول سيارة تعمل بخلية الوقود تكون متاحة تجاريا، وهي السيارة (إف سي إكس كلاريتي) FCX Clarity. وهذه السيارة تعمل على نطاق 240 ميلا، وذات سرعة قصوى تبلغ 100 ميل في الساعة، ولها جميع خصائص سيارات السيدان القياسية ذات الأبواب الأربعة. ولأنها تستخدم الهيدروجين فقط كوقود، فإنها لا تحتاج للبنزين أو للشحن الكهربائي. لكن نظرا لأن البنية الأساسية للهيدروجين لا وجود لها بعد، فإنها متاحة للإيجار في الولايات المتحدة في جنوب كاليفورنيا فقط. كما تعلن هوندا أيضا عن نسخة رياضية من سيارتها التي تعمل بخلية الوقود، واسمها (إف سي سبورت) FC Sport.

وبعد ذلك أعلنت شركة جنرال موتورز عام 2009، عقب نجاحاتها من الإفلاس بعد طرد إدارتها القديمة، أن سيارة خلية الوقود التي تعمل على تصنيعها، وهي السيارة (شيفي إكوينوكس) Chevy Equinox، قد تجاوزت نقطة المليون ميل فيما يتعلق بالاختبارات. وعلى مدار الأشهر الخمس والعشرين الماضية، كان 5000 شخص يختبرون 100 سيارة من سيارات خلية الوقود تلك. وتحاول ديترويت (مدينة صناعة السيارات الأمريكية)، التي أصبحت عاجزة بشكل مزمن عن ملاحقة اليابان في إنتاج تكنولوجيا السيارات الصغيرة وأنواع السيارات الهجين، أن تحظى بموطئ قدم في المستقبل.

وظاهريا، تبدو سيارة خلية الوقود السيارة المثالية؛ فهي تعمل عن طريق

مزج الهيدروجين والأكسجين معا، وهو المزج الذي يتحول بعد ذلك إلى طاقة كهربائية، ويتولد الماء كنفاية لهذه العملية. ولا تولد هذه السيارة أدنى قدر من الدخان. وسيكون من الغريب أن تنظر إلى أنبوب العادم في سيارة تعمل بخلية الوقود. وهكذا، بدلا من أن تختنق بسبب أدخنة العادم السامة المنبعثة من الخلف، فإن كل ما ستراه سيكون عبارة عن قطرات من الماء بلا لون ولا رائحة.

يقول مايك سكوابل، أحد الذين اختبروا قيادة السيارة (إكوينوكس) لمدة عشر سنوات: (عندما تضع يدك فوق أنبوب العادم لن تجد شيئا يخرج منه سوى الماء. وقد كان ذلك بالفعل شعورا رائعا).

ولا تعتبر تكنولوجيا خلية الوقود تكنولوجيا جديدة؛ فمبادئها الرئيسية معروفة منذ وقت بعيد مضى، وتحديدًا ترجع إلى عام 1839. وقد استخدمت وكالة الفضاء الأمريكية ناسا NASA خلايا الوقود لتزويد معداتها في الفضاء بالوقود طوال عقود. والجديد في الأمر هو عزم مصنعي السيارات على زيادة الإنتاج وتقليل النفقات.

وهناك مشكلة أخرى تواجه سيارة خلية الوقود، وهي المشكلة نفسها التي أزعجت هنري فورد أثناء تسويق (الموديل تي) Model T من سياراته. لقد زعم المنتقدون أن البنزين خطير، وأن الناس سيقضون نحبهم في حوادث سيارات مفزعة، ويحترقون وهم أحياء عند التصادم. كما سيكون من الضروري وجود محطة للتزود بالبنزين في جميع الأحياء السكنية تقريبا. وفي كل هذه النقاط، كان المنتقدون على حق؛ فالناس يموتون بالآلاف بالفعل كل عام في حوادث سيارات رهيبية، كما أننا نرى



محطات البنزين في كل مكان. غير أن الفوائد والراحة التي تجلبها السيارات عظيمة إلى حد أن الناس يتجاهلون تلك الحقائق.

والآن، تظهر الاعتراضات ذاتها على سيارات خلية الوقود. فالوقود الهيدروجيني متطاير وقابل للانفجار، ومن الضروري بناء محطات الهيدروجين كل بضعة مجمعات سكنية. والأرجح أن المنتقدين على حق في هذا أيضا. لكن بمجرد إنشاء البنية الأساسية للهيدروجين، سيجد الناس أن سيارات خلايا الوقود التي لا تسبب التلوث مريحة ومفيدة لدرجة ستجعلهم يتجاهلون تلك الحقائق. واليوم، هناك فقط سبعون محطة للتزود بالوقود لسيارات خلية الوقود في الولايات المتحدة بأكملها. ولما كان نطاق سير سيارات خلية الوقود هو حوالي 170 ميلا لكل مرة يمتلئ فيها الخزان بالوقود، فهذا يعني أنه يجب عليك مراقبة مؤشر الوقود بعناية أثناء القيادة. لكن هذا الأمر سيتغير بالتدريج، خاصة إذا بدأ سعر هذا الوقود في الانخفاض مع كثافة الإنتاج والتطورات التكنولوجية.

يبدو أن المشكلة الرئيسية في السيارة الكهربائية أن البطارية الكهربائية لا تولد الطاقة من العدم؛ فعليك شحن البطارية بالطاقة في المقام الأول، وتلك الطاقة عادة ما تأتي من مصنع لحرق الفحم. لذا فرغم أن السيارة الكهربائية لا تسبب التلوث، فإن مصدر طاقتها الأساسي هو الوقود الأحفوري!

والهيدروجين ليس منتجا مستقلا للطاقة، وإنما هو حامل للطاقة؛ فلا بد من إيجاد غاز الهيدروجين أولا. وعلى سبيل المثال، لا بد من استخدام الكهرباء لفصل الماء إلى هيدروجين وأكسجين. لذا فرغم أن السيارات

الكهربائية وسيارات خلية الطاقة تبشرنا بمستقبل خال من الدخان، تظل مشكلة أن الطاقة التي تستخدمها تلك السيارات تأتي في معظمها من حرق الفحم! وفي النهاية، نصطدم بالقانون الأول للديناميكا الحرارية الذي ينص على: المادة أو الطاقة لا تفنى، ولا تُستحدث من عدم. ويبدو أنه لا يمكنك الحصول على شيء ما دون مقابل! ويعني هذا أننا أثناء التحول من البنزين إلى الكهرباء سنكون بحاجة إلى استبدال شكل جديد تماما من الطاقة بمصانع حرق الفحم.

## الانشطار النووي

أحد احتمالات خلق الطاقة، بدلا من مجرد نقلها، هو انشطار ذرات اليورانيوم. وميزة ذلك أن الطاقة النووية لا تنتج كميات غزيرة من الغازات المتسببة في ظاهرة الدفيئة، كالتي تنتجها مصانع حرق الفحم والنفط. غير أن مشكلات فنية وسياسية قيدت استخدام الطاقة النووية لعقود من الزمن. فقد بدأ إنشاء آخر محطة للطاقة النووية في الولايات المتحدة عام 1977، قبل الحادث المأساوي الذي وقع في جزيرة ثري مايل آيلاند عام 1979، والذي أعاق المستقبل التجاري للطاقة النووية. ثم جاء حادث الانفجار المدمر لمفاعل (تشيرنوبل) Chernobyl عام 1986 ليغلق الباب تماما أمام الطاقة النووية لفترة من الزمن. وقد جفت منابع الطاقة النووية في الولايات المتحدة وأوروبا، ولم تبق على قيد الحياة في فرنسا واليابان وروسيا إلا بفضل الإعانات السخية من الحكومة. ومشكلة الطاقة النووية أنه عندما تنشط ذرة اليورانيوم، تنتج كمية هائلة

من المخلفات النووية ذات النشاط الإشعاعي الذي يستمر لآلاف السنين، بل لعشرات الملايين من السنين. فمفاعل تقليدي بقدرة 1000 ميجاوات ينتج نحو ثلاثين طناً من النفاية النووية عالية المستوى بعد عام واحد على تشغيله. وتكون تلك النفاية شديدة النشاط الإشعاعي لدرجة أنها تتوهج في الظلام فعليا، ولا بد من تخزينها في برك تبريد خاصة. ومع وجود نحو 100 مفاعل نووي تجاري في الولايات المتحدة، فإنه يتم إنتاج آلاف الأطنان من المخلفات النووية ذات المستوى الإشعاعي العالي كل عام.

وتلك المخلفات النووية تتسبب في المشكلات لسببين: أولاً، أنها تظل ساخنة حتى بعد إيقاف عمل المفاعل. وإذا حدث أن توقف ماء التبريد بالمصادفة لأي سبب، كما حدث في جزيرة ثري مايل، فإن قلب المفاعل يبدأ في الانصهار. وإذا حدث اتصال بين المعدن المنصهر وبين الماء، فإنه يمكن أن يتسبب في انفجار بخاري قادر على نسف المفاعل، قاذفاً أطنانا من الحطام عالي المستوى الإشعاعي في الهواء. وفي حالة وقوع حادث نووي من الفئة 9، وهو الأسوأ على الإطلاق، سيكون لابد من عملية إخلاء فوري لملايين من الناس بعيدا عن المفاعل لمسافة تتراوح بين 10 إلى 50 ميلاً. وقد قدرت إحدى الدراسات الحكومية أن وقوع حادث في مفاعل كمفاعل (إنديان بوينت) Indian Point مثلاً، الذي يقع على بعد 24 ميلاً فحسب شمال مدينة نيويورك، يُتصور أنه سيتسبب في خسائر في الممتلكات تقدر بمئات المليارات من الدولارات. وفي حادث جزيرة (ثري مايل)، نجح المفاعل قبل دقائق من كارثة كبرى كانت ستؤدي لشلل القطاع الشمالي الشرقي من البلاد. وأمكن تجنب الكارثة بصعوبة عندما

استطاع العاملون إعادة إدخال مياه التبريد إلى نواة المفاعل قبل ثلاثين دقيقة فقط من وصول القلب إلى نقطة انصهار ثاني أكسيد اليورانيوم. وفي مفاعل تشيرنوبل، خارج مدينة كييف الروسية، كان الموقف أسوأ بكثير؛ فقد عطل العاملون آلية الأمان (قضبان التحكم) يدويا. فحدثت موجة اندفاع صغير للطاقة أخرجت المفاعل بأكمله عن نطاق السيطرة. وعندما اصطدمت المياه الباردة فجأة بالمعدن المنصهر، أدت لانفجار بخاري نسف سقف المفاعل بالكامل، وأطلق جزءا كبيرا من قلب المفاعل في الهواء. وفي النهاية، قضى العديد من العاملين الذين أرسلوا للسيطرة على الحادث نحبهم على نحو بشع جراء الحروق الإشعاعية. ومع اشتعال نيران المفاعل وخروجها عن السيطرة، كان لا بد في النهاية من استدعاء القوة الجوية الروسية. وبالفعل، تم إرسال طائرات مروحية ذات دروع خاصة لرش الماء المعالج بالبورات على المفاعل المشتعل. وأخيرا، كان لا بد من إحاطة قلب المفاعل بالخرسانة الصلبة. وحتى يومنا هذا، ما زال قلب المفاعل مضطربا ومستمر في توليد الحرارة والإشعاع.

وبالإضافة إلى مشكلات الانصهارات والانفجارات، هناك أيضا مشكلة التخلص من النفاية. أين ستوضع؟ على نحو محرج، ما من إجابة عن هذا السؤال بعد مرور خمسين عاما على بداية العصر النووي. وفي الماضي، كانت هناك مجموعة من الأخطاء المكلفة فيما يتعلق بالتخلص الدائم من النفاية النووية. فقد تم بشكل أساسي التخلص من بعض النفاية ببساطة عن طريق إلقائها في المحيط من قبل الولايات المتحدة وروسيا، أو عن طريق دفنها في حفر غير عميقة. وفي جبال الأورال، انفجر أحد

مستودعات نفاية البلوتونيوم على نحو كارثي عام 1957، مما تتطلب عملية إخلاء شامل وتسبب في أضرار إشعاعية غطت مساحة قدرها 400 ميل مربع بين سفير دلو فسك وتشليابينسك.

وقد حاولت الولايات المتحدة في السبعينات من القرن العشرين دفن النفاية النووية عالية المستوى في ليونس بولاية كانساس في مناجم الملح. لكن فيما بعد، اكتُشف أن مناجم الملح غير قابلة للاستخدام، لأنها كانت مليئة بالعديد من الفتحات التي حفرها المنقبون عن النفط والغاز. فأجبرت الولايات المتحدة على إغلاق موقع ليونس، وكان هذا فشلاً محرجاً.

وعلى مدار الخمس والعشرين عاماً التالية، أنفقت الولايات المتحدة 9 مليارات دولار في دراسة وبناء مركز التخلص من النفاية النووية العملاق، في جبل (يوكا) في نيفادا، قبل أن يلغي الرئيس باراك أوباما Barack Obama المشروع عام 2009. ولقد شهد الجيولوجيون بأن موقع جبل يوكا قد يكون غير قادر على احتواء النفاية النووية لمدة عشرة آلاف عام. وهكذا، لن يتم افتتاح موقع جبل يوكا مطلقاً، وهو ما سيترك المشغلين التجاريين لمصانع الطاقة النووية دون منشأة دائمة لتخزين النفاية.

وفي وقتنا الراهن، يبدو مستقبل الطاقة النووية غير واضح. ويظل وول ستريت فزعاً من استثمار عدة مليارات من الدولارات في كل محطة جديدة للطاقة النووية. غير أن مجال الطاقة النووية يزعم أن أحدث أجيال المحطات النووية أكثر أماناً عما سبق. وفي غضون ذلك، تبقي وزارة الطاقة الأمريكية خياراتها مفتوحة فيما يتعلق بالطاقة النووية.

## الانتشار النووي

يبدو أنه مع القوة الهائلة يأتي الخطر الهائل. وفي الميثولوجيا الإسكندنافية، على سبيل المثال، عبد الفايكنج ملك الآلهة (أودين) Odin الذي حكم مقر الآلهة بالحكمة والعدل. وقد ترأس أودين مجموعة من الآلهة، منهم الإله البطل (ثور) Thor الذي كان نبله وبسالته هما الصفتان الأكثر قيمة في أي محارب. لكن كان هناك أيضا الإله (لوكي) Loki، إله الأذى، الذي أكلته نار الغيرة والكراهية، والذي كان دائم الكيد والمكر، بارعا في الغش والخداع. وقد تأمر لوكي، في النهاية، مع العمالقة لإشعال شرارة المعركة الأخيرة بين الظلام والنور، وهي المعركة التي تشهد الدمار الشامل للآلهة. والمشكلة اليوم أن الغيرة والكراهية بين الأمم يمكن أن تشعل شرارة الدمار النووي الشامل. ولقد بين لنا التاريخ أنه عندما تتقن إحدى الأمم التكنولوجيا التجارية للطاقة النووية، يمكنها - إذا كانت لديها الرغبة والإرادة السياسية - أن تتحول إلى صنع الأسلحة النووية. ويمكن الخطر في أن تكنولوجيا الأسلحة النووية سوف تنتشر وتصل إلى بعض أكثر مناطق العالم اضطرابا.

وخلال الحرب العالمية الثانية، امتلكت الأمم العظمى فقط في العالم الموارد والمعرفة الفنية والقدرة على صنع قنبلة ذرية. لكن في المستقبل، يمكن أن ينخفض معيار الانضمام للنادي النووي بشدة مع انهيار أسعار تخصيب اليورانيوم الناتج عن ظهور تقنيات حديثة. وهذا هو الخطر الذي نواجهه؛ فالتقنيات الأحداث والأرخص سعرا يمكن أن تضع القنبلة الذرية بين أيدي مضطربة.

إن أساس صنع القنبلة الذرية امتلاك كميات كبيرة من اليورانيوم الخام، ومن ثم تنقيته. ويعني هذا فصل اليورانيوم 238 (الذي يشكل نسبة 99.3 في المائة من اليورانيوم الموجود في الطبيعة) عن اليورانيوم 235 المناسب لصنع القنبلة الذرية (موجود بنسبة 0.7 في المائة فقط). وهذان النظيران متماثلان كيميائياً، لذا فإن الطريقة الوحيدة لفصلهما عن بعضهما على نحو موثوق هي استغلال حقيقة أن اليورانيوم 235 يقل وزنه عن وزن نظيره بنسبة 1 في المائة تقريباً.

وخلال الحرب العالمية الثانية، كانت الوسيلة الوحيدة المتاحة لفصل نظيري اليورانيوم عن بعضهما تتمثل في عملية الانتشار الغازي الشاقة العسيرة: إذ يتم تحويل اليورانيوم إلى غاز (سادس فلوريد اليورانيوم)، ثم ينقل عبر مئات الأميال من الأنابيب والأغشية، ليفوز بالسباق في نهاية تلك الرحلة الطويلة اليورانيوم 235 الأسرع (أي الأخف وزناً)، تاركاً اليورانيوم 238 الأثقل وزناً يأتي في المؤخرة. وبعد استخلاص الغاز المحتوي على اليورانيوم 235، تتكرر العملية إلى أن يرتفع مستوى تخصيب اليورانيوم 235 من 0.7 في المائة إلى 90 في المائة، وهو اليورانيوم الصالح لصنع القنبلة الذرية. غير أن دفع اليورانيوم الغازي كان أمراً يتطلب كميات هائلة من الكهرباء. وخلال الحرب، كانت نسبة كبيرة من إجمالي إمدادات الكهرباء للولايات المتحدة تتحول إلى معمل أوك ريدج الوطني Oak Ridge National Laboratory لهذا الغرض تحديداً. وكان مبنى التخصيب هائل الضخامة، إذ احتل مساحة 2 مليون قدم مربع، وضم 12000 عامل.

وبعد الحرب، كانت القوتان العظميان - الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفيتي - وحدهما من يستطيع تكديس مخازن ضخمة بالأسلحة النووية (وصلت إلى 30000)، لأنهما أتقنتا فن الانتشار الغازي. لكن اليوم، صارت نسبة 33 في المائة فقط من اليورانيوم المخصب في العالم هي التي تأتي من الانتشار الغازي.

وتستخدم منشآت التخصيب من الجيل الثاني تكنولوجيا أكثر تعقيدا وأزهد ثمنا، وهي: أجهزة الطرد المركزية فائقة السرعة التي صنعت تحولاً جذرياً في السياسة العالمية. ويمكن لأجهزة الطرد المركزية تدوير كبسولة تحتوي على اليورانيوم بسرعات تصل إلى 100000 دورة في الدقيقة. ويعمل هذا الدوران السريع على إبراز فارق الـ 1 في المائة في الكتلة بين اليورانيوم 235 واليورانيوم 238. وفي النهاية، يغوص اليورانيوم 238 في القاع، ويمكن استخلاص اليورانيوم 235 من أعلى الأنبوب، بعد دورات كثيرة.

وتتسم أجهزة الطرد المركزي فائقة السرعة بأنها أكثر كفاءة بحوالي خمسين مرة من الانتشار الغازي فيما يتعلق بالطاقة. وتتم الآن تنقية نحو 54 في المائة من اليورانيوم في العالم بهذه الطريقة.

وفي ظل وجود تكنولوجيا أجهزة الطرد المركزي، يتطلب الأمر عمل 1000 جهاز طرد مركزي فقط على نحو مستمر لمدة عام واحد لإنتاج كمية من اليورانيوم المخصب تكفي لصنع قنبلة نووية. ومن الممكن سرقة تكنولوجيا أجهزة الطرد المركزي بسهولة. ففي واحد من أسوأ الانتهاكات للأمان النووي عبر التاريخ، استطاع مهندس نووي مغمور



اسمه عبد القدير خان سرقة مخططات أجهزة الطرد المركزي ومكونات القنبلة الذرية، وبيعها مقابل المال. ففي عام 1975، أثناء عمله في أمستردام لحساب الشركة الأوروبية لتخصيب اليورانيوم (يورينكو) URENCO التي أسستها بريطانيا وألمانيا الغربية وهولندا لتزويد المفاعلات الأوروبية باليورانيوم، سرق المخططات السرية، وقدمها للحكومة الباكستانية التي كرمته كبطل قومي. ويشتهر أيضا في أنه باع تلك المعلومات السرية للرئيس العراقي صدام حسين وحكومات إيران وكوريا الشمالية وليبيا.

وباستخدام تلك التكنولوجيا المسروقة، استطاعت باكستان بناء مستودع صغير للأسلحة النووية التي بدأت في اختبارها عام 1998. وكاد التنافس النووي الذي أعقب ذلك بين باكستان والهند، اللتان فجرتا كل منهما مجموعة من القنابل الذرية، أن يؤدي بالدولتين المتنافستين إلى مواجهة نووية.

ومن المعروف أن إيران -ربما بسبب التكنولوجيا التي اشترتها من عبد القدير خان - قد سرعت عجلة برنامجها النووي، إذ صنعت 8000 جهاز طرد مركزي بحلول عام 2010، وهي تنوي صنع 30000 جهاز إضافي. ويؤدي هذا إلى الضغط على دول الشرق الأوسط لامتلاك القنابل النووية بدورها، مما يعمق الاضطراب وعدم الاستقرار في المنطقة.

والسبب الثاني الذي قد يؤدي إلى تغيير السياسات في القرن الحادي والعشرين هو ظهور جيل جديد من أجيال تكنولوجيا التخصيب؛ وهو تخصيب اليورانيوم بالليزر. والأرجح أن هذه التكنولوجيا أرخص حتى من تكنولوجيا أجهزة الطرد المركزي.

فلو أنك فحصت أغلفة إلكترونات هذين النظيرين من اليورانيوم، فستجدها متماثلة بوضوح، لأن نواتيهما لهما الشحنة نفسها. لكن إذا قمت بتحليل معادلات أغلفة الإلكترونات بعناية شديدة، ستجد أن هناك farkا دقيقا في الطاقة بين أغلفة الإلكترونات لليورانيوم 235 واليورانيوم 238. وعن طريق إضاءة شعاع ليزر فائق الدقة، يمكن طرد الإلكترونات من غلاف نواة اليورانيوم 235، دون غلاف نواة اليورانيوم 238. وبمجرد تأيين ذرات اليورانيوم 235، يمكن فصلها بسهولة عن ذرات اليورانيوم 238 بواسطة مجال إلكتروني.

والواقع أن الاختلاف في الطاقة بين النظيرين ضئيل للغاية لدرجة أن العديد من الدول حاولت الاستفادة من هذه الحقيقة وفشلت. ففي الثمانينات والتسعينات من القرن العشرين، حاولت الولايات المتحدة وفرنسا وبريطانيا وألمانيا وجنوب أفريقيا واليابان إتقان استخدام تلك التكنولوجيا الصعبة دون أدنى نجاح. وفي الولايات المتحدة وحدها، ضمت محاولة واحدة 500 عالم وتكلفت ملياري دولار.

وفي عام 2006، أعلن علماء أستراليا أنهم لم يحلوا المشكلة فحسب وإنما ينوون استغلال ذلك تجاريا أيضا. ولما كانت نسبة 30 في المائة من تكلفة وقود اليورانيوم نابعة من عملية التخصيب، فإن الشركة الأسترالية (سايلكس) Silex تعتقد أنه قد تكون هناك سوق رائجة لتلك التكنولوجيا. بل إن سايلكس وقعت عقدا مع جنرال إلكتريك General Electric لبدء عملية المتاجرة. وتأمل الشركتان في النهاية في إنتاج ما يصل إلى ثلث يورانيوم العالم باستخدام هذه التكنولوجيا. وفي عام 2008،

أعلنت شركة (هيتاشي) للطاقة النووية Hitachi Nuclear Energy، التابعة لجنرال إلكتريك، عن خططها لبناء أول محطة لتخصيب اليورانيوم بالليزر في ويلمينجتون بولاية نورث كارولينا بحلول عام 2012. وسوف تحتل المحطة مساحة 200 فدان على موقع تبلغ مساحته 1600 فدان.

وبالنسبة لمجال الطاقة النووية، يعد هذا خبرا سارا، لأنه سيقلل من تكلفة تخصيب اليورانيوم خلال السنوات القليلة القادمة. إلا أن آخرين يشعرون بالقلق، لأن المسألة مسألة وقت فحسب قبل أن تنتشر تلك التكنولوجيا في مناطق غير مستقرة من العالم. وبعبارة أخرى، فإن لدينا فرصة لتوقيع معاهدات لمنع وتنظيم تدفق اليورانيوم المخصب. وما لم نحكم السيطرة على هذه التكنولوجيا، فسوف تستمر القنبلة النووية في الانتشار والتكاثر، وربما حتى تصل إلى أيدي مجموعات إرهابية.

لقد كان الراحل ثيودور تايلور Theodore Taylor، الذي حظي بميزة نادرة هي تصميم بعض أكبر وأصغر الرؤوس النووية لحساب وزارة الدفاع الأمريكية (البنتاجون) Pentagon، أحد معارفي. وكان أحد تصاميمه مدفع دافي كروكيت Davy Crockett الذي يزن خمسين رطلا فحسب، لكنه قادر على قذف العدو بقنبلة ذرية صغيرة. وكان تايلور نصيرا متحمسا للقنابل النووية، عمل على مشروع (أوريون) Orion الذي كان يفترض أن يستخدم القنابل النووية في دفع سفينة فضاء إلى النجوم القريبة. وقد اعتمدت حسابات تايلور على أن الطاقة الناتجة عن إلقاء القنابل النووية على نحو متتالي من مؤخرة سفينة الفضاء سوف تدفعها لتصل إلى ما يقرب من سرعة الضوء.

وعندما سألته ذات مرة لماذا هجر تصميم القنابل النووية وتحول للعمل على الطاقة الشمسية، أسر إلي بالإجابة قائلاً إنه يرى كابوساً متكرراً. لقد شعر أن عمله على تصميم الأسلحة النووية سيؤدي في النهاية إلى شيء واحد؛ وهو: إنتاج رؤوس نووية من الجيل الثالث (كانت الرؤوس النووية من الجيل الأول، التي صنعت في الخمسينات من القرن العشرين، ضخمة ومن الصعب حملها إلى أهدافها. أما الرؤوس النووية من الجيل الثاني، التي صنعت في السبعينات، فكانت صغيرة ومدججة ويمكن وضع عشرة منها على رأس صاروخ واحد. بينما الجيل الثالث من تلك القنابل جيل مصمم خصيصاً للعمل في بيئات مختلفة، كالغابات والصحراء وحتى الفضاء الخارجي). وإحدى قنابل الجيل الثالث تلك قنبلة نووية صغيرة للغاية إلى حد أن إرهابياً يمكنه وضعها في حقيبة واستخدامها لتدمير مدينة كاملة. وقد أفزعته ولازمته لبقية حياته فكرة أن الجهد الذي بذله في حياته كلها يمكن أن يستغل في يوم من الأيام من قبل إرهابي.

## منتصف القرن (من 2030 إلى 2070)

### الاحتباس الحراري

بحلول منتصف القرن الحادي والعشرين، سيكون الأثر الكامل لاقتصاد الوقود الأحفوري قد وصل لأقصى درجاته: الاحتباس الحراري. وهناك جدول قائم حالياً حول ارتفاع درجة حرارة الأرض. فعلى مدار القرن الماضي، ارتفعت درجة حرارة الأرض بمقدار 1.3 درجة فهرنهايت، وهذا المعدل آخذ في التسارع. والإشارات الدالة على هذا الارتفاع أوضح من أن تخطئها عين في كل مكان ننظر فيه:

قلت سماكة الجليد في القطب الشمالي بنسبة مذهلة بلغت 50 في المائة خلال الخمسين عاماً الماضية فقط. ودرجة حرارة جزء كبير من هذا الجليد أقل من نقطة التجمد بقدر ضئيل، وهو يطفو على الماء. وهكذا، فإنه في حقيقة الأمر شديد الحساسية لأدنى تغيرات في درجة حرارة المحيطات، وبهذا يعمل كأنه نظام إنذار مبكر. واليوم، تختفي أجزاء من كتل الجليد الموجودة في القطب الشمالي خلال أشهر الصيف، وقد تختفي تماماً خلال هذه الأشهر بحلول عام 2015 القريب جداً. وقد تلاشى كتل الجليد القطبية نهائياً بحلول نهاية هذا القرن، مسببة الاضطراب في طقس العالم عن طريق تغيير تدفق المحيطات والتيارات الهوائية في جميع أنحاء الكوكب.

تقلصت منحدرات جرينلاند الجليدية بمقدار أربعة وعشرين ميلاً مربعاً

عام 2007. وقفز هذا الرقم ليصل إلى واحد وسبعين ميلا عام 2008. (ولو ذاب كل الجليد الموجود في جرينلاند، بطريقة ما أو بأخرى، فإن مستوى سطح البحر سيرتفع بمقدار عشرين قدما في جميع أنحاء العالم).

كميات هائلة من جليد القطب الجنوبي، الذي كان مستقرا طوال عشرات الألوف من السنين، تنفصل عن بعضها بالتدريج. ففي عام 2000، انفصل جزء بحجم ولاية كونيتيكت، وهو يحتوي على 4200 ميل مربع من الجليد. وفي عام 2002، انفصلت قطعة من الجليد بحجم جزيرة (رود آيلاند). (ولو ذاب كل جليد القطب الجنوبي، فسوف يرتفع مستوى سطح البحر بنحو 180 قدما في جميع أنحاء العالم).

مقابل كل قدم رأسي من ارتفاع مستوى الماء في المحيطات، يكون هناك تمدد أفقي بقيمة نحو 100 قدم. وقد ارتفع مستوى سطح البحر بالفعل بقيمة 8 بوصات خلال القرن الماضي، وكان السبب الرئيس في هذا الارتفاع تمدد مياه البحار مع زيادة حرارتها. ووفقا لتقديرات الأمم المتحدة، فإن مستوى سطح البحر يمكن أن يرتفع بقيمة تتراوح بين 7 إلى 23 بوصة بحلول عام 2100. وذكر بعض العلماء أن تقرير الأمم المتحدة كان متحفظا للغاية في تفسير البيانات المتوفرة. فوفقا لعلماء في (معهد دراسات القطب الشمالي وجبال الألب) Institute of Arctic and Albine Research التابع لجامعة كولورادو University of Colorado، فإن مستوى سطح البحر يمكن أن يرتفع بمقدار يتراوح بين 3 إلى 6 أقدام بحلول عام 2100. وهكذا، فإن خريطة الخط الساحلي للأرض سوف تتغير بالتدريج.

بدأ تسجيل درجات الحرارة على نحو موثوق في نهايات القرن الثامن عشر، وكانت الأعوام 1995 و2005 و2010 بين أكثر الأعوام التي تم تسجيلها حرارة على الإطلاق، وكان العقد الممتد من 2000 إلى 2009 العقد الأكثر حرارة أيضا. وبالمثل، فإن مستويات غاز ثاني أكسيد الكربون ترتفع بشدة؛ فقد وصلت لأعلى مستوياتها خلال 100000 سنة. مع زيادة درجة حرارة الأرض، تبدأ الأمراض الاستوائية بالتدريج في الهجرة نحو الشمال. وربما كان الانتشار الأخير لفيروس حمى غرب النيل الذي يحمله البعوض نذيرا بأشياء أخرى قادمة. ويشعر مسؤولو الأمم المتحدة بقلق شديد تجاه انتشار الملاريا باتجاه الشمال. فعادة ما يموت بيض العديد من الحشرات الضارة كل فصل شتاء عندما تتجمد التربة. لكن مع قصر مدة الشتاء، سيعني هذا انتشار الحشرات الخطيرة نحو الشمال على نحو يصعب إيقافه.

## ثاني أكسيد الكربون: غاز الدفيئة

وفقا للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ Intergovernmental Panel on Climate Change التابعة للأمم المتحدة، استنتج العلماء بنسبة ثقة قدرها 90 في المائة أن الاحتباس الحراري ناتج عن الأنشطة البشرية، خاصة إنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون من خلال حرق الفحم والنفط. فأشعة الشمس تمر بسهولة عبر غاز ثاني أكسيد الكربون، لكن مع تسبب ضوء الشمس في تسخين سطح الأرض، فإنه يصنع الأشعة تحت الحمراء التي لا تستطيع المرور بالسهولة نفسها في الاتجاه العكسي عبر غاز ثاني أكسيد الكربون. وهكذا، لا تتمكن طاقة أشعة الشمس من العودة إلى

الفضاء وتُحبس في الأرض.

ولعلنا نرى أيضا أثرا مشابها يحدث في الصوب الزجاجية أو السيارات؛ فضوء الشمس يسخن الهواء، ويمنع الزجاج هذا الهواء من الخروج. وقد زادت كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المتولدة على نحو هائل ومنذر بالخطر، خاصة خلال القرن الماضي. فقبل عصر الثورة الصناعية، كان محتوى الهواء من ثاني أكسيد الكربون 270 جزءا لكل مليون جزء. واليوم، ارتفع هذا الرقم بشدة ليصل إلى 387 جزءا لكل مليون جزء. (في عام 1900، استهلك العالم 150 مليون برميل من النفط. وفي عام 2000، قفز هذا الرقم ليصل إلى 28 مليار برميل؛ أي زيادة بمقدار 185 ضعفا. وفي عام 2008، أطلق في الهواء 9.4 مليار طن من ثاني أكسيد الكربون نتيجة إحراق الوقود الأحفوري وإزالة الأشجار أيضا. وما أعيد تدويره منها في المحيطات والتربة والحياة النباتية كان 5 مليارات طن فقط. وستظل الكمية المتبقية في الهواء لعقود تالية، متسببة في زيادة درجة حرارة الأرض).

## زيارة إلى أيسلندا

إن زيادة درجة حرارة الأرض ليست مجرد حظ عاثر، وهو ما ندركه عند تحليل جوهر الجليد. فعن طريق الحفر بعمق في الجليد العتيق للقطب الشمالي، استطاع العلماء استخراج فقاعات هوائية عمرها آلاف السنين. وعن طريق تحليل الهواء الموجود في تلك الفقاعات كيميائيا، يستطيع العلماء إعادة تشكيل درجة الحرارة ومحتوى ثاني أكسيد الكربون للطقس الذي كان موجودا منذ أكثر من 600000 سنة. وقريبا، سيتمكنون من



تحديد أحوال الطقس التي كانت سائدة منذ مليون سنة. ولقد واثنتي فرصة رؤية هذا مباشرةً. فقد ألقيت محاضرة ذات مرة في ريكيافيك، عاصمة آيسلندا، وحظيت بشرف زيارة جامعة آيسلندا، حيث يتم تحليل جوهر الجليد. وجدير بالذكر أنه عندما تخط طائرتك في ريكيافيك، يكون كل ما تراه في البداية هو الثلج والصخور المسننة التي تشبه المشهد البارد الكثيب لسطح القمر. ورغم أن المنطقة قاحلة ووعرة، فإنها تجعل من القطب الشمالي المكان الأمثل لتحليل مناخ الأرض قبل مئات الألوف من السنين.

وعندما زرت معمل الجامعة، المحفوظ في درجة حرارة التجمد، كان عليّ المرور عبر أبواب ثلاثيات سميكة. وبمجرد أن صرت بالداخل، أمكنني رؤية أرفف عديدة تحتوي أنابيب معدنية طويلة، قطر كل واحدة منها نحو بوصة ونصف البوصة وطولها يصل لحوالي عشرة أقدام. وكان كل أنبوب أجوف غائصا بعمق في كتلة من الجليد. ومع اختراق الأنبوب للجليد، فإنه يجمع العينات من قطع جليد تساقطت منذ آلاف السنين. وعندما تمت إزالة الأنابيب، كنت أستطيع فحص محتويات جليد كل واحدة منها بعناية. في البداية، كان كل ما أمكنني رؤيته عمود طويل من الثلج الأبيض. لكن عند تدقيق الفحص، استطعت أن أرى أن الثلج يحتوي على أشرطة مكونة من خيوط دقيقة ذات ألوان مختلفة.

ولقد كان على العلماء استخدام مجموعة متنوعة من الأساليب لتحديد تاريخها. فبعض طبقات الجليد كانت تحتوي على علامات تشير إلى أحداث مهمة، مثل سواد منبعث من انفجار بركاني. ولما كانت تواريخ

تلك الانفجارات البركانية معروفة بقدر كبير من الدقة، أصبح من الممكن استخدام تلك التواريخ لتعيين عمر الطبقات الجليدية.

وبعد ذلك، تم تقسيم لب كتل الجليد إلى شرائح متنوعة حتى يمكن دراستها. وعندما أمعنت النظر في واحدة من الشرائح تحت المجهر، رأيت فقاعات مجهرية دقيقة؛ واقشعر جسدي عندما أدركت أنني أرى فقاعات هوائية تكونت منذ عشرات الآلاف من السنين، من قبل حتى أن تظهر الحضارة الإنسانية.

ولعله من السهل قياس محتوى ثاني أكسيد الكربون دخل كل فقاعة، لكن حساب درجة حرارة الجو عند ترسب الجليد لأول مرة أكثر صعوبة. (لفعل هذا، يقوم العلماء بتحليل الماء الموجود في الفقاعة؛ فجزئيات الماء يمكن أن تحتوي على نظائر مختلفة. ومع انخفاض درجات الحرارة، تتكثف نظائر الماء الأثقل بسرعة أكبر من جزئيات الماء العادية. وهكذا، عن طريق قياس كمية النظائر الأثقل، يمكن حساب درجة الحرارة التي تكثفت عندها جزئيات الماء).

وأخيراً، بعد تحليل محتويات الآلاف من قطع الجليد بمشقة، توصل هؤلاء العلماء إلى بعض الاستنتاجات المهمة. لقد وجدوا أن درجات الحرارة ومستويات ثاني أكسيد الكربون تذبذبت على نحو متواز، وكأنهما قطارا ملاء يتحركان متزامنين عبر عدة آلاف من السنين. فعندما يرتفع أو ينخفض منحني أحدهما، يتبعه الآخر في الارتفاع أو الانخفاض.

والأكثر أهمية أنهم اكتشفوا حدوث ارتفاع مفاجئ في درجات الحرارة ومحتوى ثاني أكسيد الكربون خلال القرن الأخير وحده. وهذا أمر غير مألوف على الإطلاق، لأن معظم التذبذبات تحدث عادة ببطء عبر

آلاف السنين. إذن، فهذا الارتفاع غير المعتاد ليس جزءاً من عملية تذبذب درجات الحرارة الطبيعية، حسب زعم العلماء، وإنما هو مؤثر مباشر على النشاط البشري.

وهناك طرق أخرى تُظهر أن هذا الارتفاع المفاجئ راجع إلى النشاط البشري، وليس إلى دورات طبيعية. فقد أصبحت عمليات المحاكاة بواسطة الكمبيوتر متطورة للغاية، حتى إننا نستطيع محاكاة درجة حرارة الأرض في ظل وجود النشاط البشري وفي غيابه. فمن دون حضارة تنتج ثاني أكسيد الكربون، وجدنا أن منحنى درجات الحرارة ثابت نسبياً. وعندما أضفنا النشاط البشري، أمكننا أن نرى أنه لا بد من وجود ارتفاع مفاجئ في كل من درجة الحرارة ومستويات ثاني أكسيد الكربون. وكان الارتفاع المتوقع في عملية المحاكاة مطابقاً تماماً للارتفاع الفعلي.

وأخيراً، يمكننا قياس كمية ضوء الشمس التي تهبط على كل قدم مربع من سطح الأرض. ويستطيع العلماء أيضاً حساب كمية الحرارة التي تنعكس عن سطح الأرض إلى الفضاء الخارجي. ونحن نتوقع عادةً أن تكون هاتان الكميتان متساويتين؛ أي أن تساوي المدخلات المخرجات. لكننا في الواقع نجد صافي كمية الطاقة التي تسخن الأرض حالياً. ومن ثم، عندما نحسب كمية الطاقة التي يولدها النشاط البشري على الأرض، نجد تطابقاً تاماً. وبالتالي، فإن النشاط البشري هو ما يسبب ارتفاع درجة الحرارة حالياً على سطح الأرض.

ومع الأسف، حتى إذا توقفنا فجأة عن إنتاج ثاني أكسيد الكربون، فإن كمية الغاز التي أطلقت في الجو بالفعل كافية لاستمرار الاحتباس الحراري لعقود

تالية. ونتيجة لذلك، فإن الموقف قد يصبح مفزعا مع حلول منتصف القرن. لقد رسم العلماء صوراً لما ستبدو عليه مدننا الساحلية في منتصف القرن وما بعده، إذا استمرت مستويات سطح البحر في الارتفاع: قد تختفي المدن الساحلية تماماً. وقد تدعو الحاجة لإخلاء أجزاء كبيرة من مانهاتن، ويبتلع الماء شارع وول ستريت. وسيكون على الحكومات أن تقرر أي من عواصمها ومدنها الكبرى يستحق الإنقاذ وأيهما لا أمل له. ويمكن إنقاذ بعض المدن من خلال مزيج من الحواجز والبوابات المائية المعقدة. وقد يحكم على مجموعة أخرى من المدن بأنه لا أمل لها، فتترك لتختفي تحت أمواج المحيط؛ مما سيخلق هجرات جماعية للناس. ولما كانت معظم المراكز التجارية المكتظة بالسكان في العالم كله مجاورة للبحار والمحيطات، فقد يترتب على هذا أثر مدمر على اقتصاد العالم. وحتى إذا أمكن إنقاذ بعض المدن، يظل الخطر قائماً من أن تؤدي عواصف هائلة إلى غمر تلك المدن بأمواج عاتية تدمر بنيتها الأساسية. على سبيل المثال، غمرت موجة ضخمة مانهاتن في عام 1992، وعطلت منظومة القطارات ومترو الأنفاق المتجهة إلى نيو جيرسي. ومع غرق وسائل النقل والمواصلات، تتوقف عجلة الاقتصاد.

## غرق بنجلاديش وفيتنام

حدد تقرير للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، التابعة للأمم المتحدة، ثلاثة مواقع معرضة لكارثة محتملة: بنجلاديش، ودلتا ميكونج في فيتنام، ودلتا النيل في مصر.

وتعد بنجلاديش صاحبة الموقف الأسوأ؛ فهي بلد تهاجمها العواصف بانتظام حتى من دون مشكلة الاحتباس الحراري، ومعظم أجزاء البلاد منبسطة وتقع عند مستوى سطح البحر. وعلى الرغم من أنها حققت مكاسب اقتصادية كبيرة خلال العقود القليلة الماضية، فإنها تظل واحدة من أفقر دول الأرض، ومن بين أعلى الدول من حيث الكثافة السكانية (يصل تعداد السكان في بنجلاديش إلى 161 مليون نسمة، وهو رقم قريب من تعداد سكان روسيا، غير أن مساحة أراضيها تقدر بنحو 120/1 من مساحة روسيا). وسوف يغرق نحو 50 في المائة من مساحة الأرض في بنجلاديش إلى الأبد، إذا ارتفع مستوى سطح البحر بقيمة ثلاثة أقدام. هذا وتقع الكوارث الطبيعية هناك على نحو شبه سنوي. لكن في سبتمبر 1998، شهد العالم بفرع معاناة لما قد يصبح في وقت من الأوقات أمرا شائعا، حيث غمر فيضان هائل ثلثي البلاد بالماء، وشردَ 30 مليون شخص ما بين عشية وضحاها، ولقي 1000 شخص مصرعهم، ودُمرت 6000 ميل من الطرق. وكانت تلك إحدى أسوأ الكوارث الطبيعية في التاريخ الحديث.

وتعد فيتنام دولة أخرى يمكن أن يدمرها ارتفاع مستوى سطح البحر، ففيها دلتا ميكونج المعرضة لخطر شديد. وبحلول منتصف هذا القرن، يمكن أن يواجه هذا البلد الذي يسكنه 87 مليون نسمة انهيارا معظم مساحته الزراعية؛ فنصف أرز فيتنام يزرع في دلتا ميكونج، التي يعيش عليها 17 مليون نسمة، والتي سوف يغرق جزء كبير منها حال ارتفاع مستوى سطح البحر. ووفقا لتقارير البنك الدولي، فإن 11 في المائة من

إجمالي السكان سيشردون إذا ارتفع مستوى سطح البحر بمقدار ثلاثة أقدام بحلول منتصف القرن. وستُغمر دلتا ميكونج أيضا بالماء المالح، مما سيدمر إلى الأبد التربة الخصبة للمنطقة. ولو شُرد الملايين من منازلهم في فيتنام، فسيندفع كثيرون منهم لاجئين إلى مدينة هو تشي منه؛ غير أن ربع هذه المدينة نفسها ستغرقه المياه أيضا.

وقد طلب (البنجاجون)، في عام 2003، إجراء دراسة بهذا الصدد. فقامت مؤسسة (جلوبال بيزنس نتوورك) Global business Network بإعداد تلك الدراسة التي أوضحت أنه في حالة وقوع أسوأ سيناريو محتمل، فإن الفوضى يمكن أن تعم العالم بسبب الاحتباس الحراري. فمع عبور ملايين اللاجئين للحدود بين الدول، يمكن أن تفقد الحكومات سيطرتها وتنهار؛ وبذلك قد تنهار الدول وتغرق في كابوس السلب والنهب وأعمال الشغب والفوضى الشاملة. وفي هذا الموقف الميؤوس منه، حين تواجه الدول احتمال تدفق ملايين اللاجئين اليائسين إلى أراضيها، فإنها قد تلجأ لاستخدام الأسلحة النووية.

يقول التقرير: (تصور نشوب مصادمات بين باكستان والهند والصين -وجميعها مسلحة بالأسلحة النووية - عند الحدود بسبب اللاجئين، واستغلال الأنهار المشتركة، والأراضي الصالحة للزراعة). وقد أُسِّرَ إلى بيتر شوارتز Peter Schwartz، مؤسس شركة جلوبال بيزنس نتوورك، أحد المشاركين الرئيسيين في الدراسة التي أجراها البنجاجون، بتفاصيل هذا السيناريو. فقال لي إن أكبر نقطة ساخنة ستكون هي الحدود بين الهند وبنجلاديش. ففي حالة وقوع أزمة كبرى في بنجلاديش، يمكن أن ينزح

ما يصل إلى 160 مليون شخص عن بيوتهم، وهو ما سيبدأ واحدة من أعظم الهجرات في تاريخ البشرية. ويمكن أن تزيد حدة التوتر بسرعة مع انهيار الحدود، وعجز الحكومات المحلية، واندلاع أعمال شغب جماعية. ويرى شوارتز أن البلدين يمكن أن يلجأ للأسلحة النووية كملاذ أخير. وفي حالة حدوث هذا السيناريو الأسوأ المحتمل، يمكن أن نجد أن أثر ظاهرة الدفيئة يزداد ويعزز نفسه. فعلى سبيل المثال، قد يؤدي ذوبان سهل (التندرة) Tundra في القطب الشمالي إلى إطلاق ملايين الأطنان من غاز الميثان من النباتات المتحللة. وتجدد الإشارة إلى أن منطقة التندرة تغطي نحو 9 ملايين ميل مربع من الأرض في نصف الكرة الشمالي، وتحتوي على نباتات متجمدة منذ العصر الجليدي الأخير الذي مر عليه آلاف السنين. وتحتوي هذه المنطقة على كميات من ثاني أكسيد الكربون والميثان أكبر مما يحتويه الغلاف الجوي؛ ويشكل هذا خطراً هائلاً على طقس العالم. وعلاوة على ذلك، فإن غاز الميثان أخطر وأشد فتكاً بكثير من ثاني أكسيد الكربون. ورغم أنه لا يبقى في الغلاف الجوي الفترة ذاتها، فإنه يسبب أضراراً أكبر بكثير. ويمكن لإطلاق كل هذه الكمية من غاز الميثان من منطقة التندرة المتجمدة أن يتسبب في زيادة درجات الحرارة بسرعة، مما سيؤدي لإطلاق المزيد من الميثان، وهو ما سيصنع دورة خبيثة من الاحتباس الحراري.

## حلول تقنية

الموقف جد خطير، لكننا لم نصل بعد لنقطة اللاعودة؛ فمشكلة التحكم في الغازات المتسببة في ظاهرة الدفيئة اقتصادية وسياسية إلى حد كبير في

الواقع، وليست مشكلة تقنية. فإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون يقترن بالنشاط الاقتصادي؛ وبالتالي فإنه يقترن بالثروة. وعلى سبيل المثال، تنتج الولايات المتحدة وحدها قرابة 25 في المائة من إجمالي إنتاج العالم من غاز ثاني أكسيد الكربون. ويُعزى هذا إلى امتلاك الولايات المتحدة نحو 25 في المائة من النشاط الاقتصادي العالمي. وفي عام 2009، تفوقت الصين على الولايات المتحدة في توليد غازات الدفيئة، بسبب النمو المتفجر لاقتصادها في الأساس. وهذا هو السبب الرئيس في الممانعة الشديدة لدول العالم في التعامل مع ظاهرة الاحتباس الحراري؛ فهذا يعوق الازدهار والنشاط الاقتصادي.

وقد تم وضع مخططات عديدة للتعامل مع تلك الأزمة العالمية، لكن في نهاية الأمر قد لا يكون العلاج السريع كافياً. فلن يحل المشكلة إلا تحول كبير في طريقة استهلاكنا للطاقة. وقد أيد علماء جادون اتخاذ بعض الإجراءات التقنيةية، لكن أياً من تلك الإجراءات لم يحظ بقبول واسع. وتشتمل مقترحات العلماء على ما يلي:

- إطلاق الملوثات في طبقات الجو العليا: ينص أحد المقترحات على إرسال الصواريخ إلى طبقات الجو العليا لتطلق الملوثات، مثل ثاني أكسيد الكبريت، هناك لتعكس ضوء الشمس إلى الفضاء، بحيث يؤدي هذا لتبريد الأرض. وفي الحقيقة، أيد العالم بول كروتزن Paul Crutzen، الحائز على جائزة نوبل، إطلاق الملوثات في الفضاء كوسيلة لتوفير سبيل أخير للبشرية يوقف ظاهرة الاحتباس الحراري. وتعود جذور هذه الفكرة إلى عام 1991، عندما راقب العلماء باهتمام الانفجار البركاني



الضخم لجبل (بيناتوبو) في الفلبين، الذي أطلق 10 مليارات طن متري من الغبار والطيني في طبقات الجو العليا. فتسبب هذا الانفجار البركاني في إعتام السماء، وانخفاض متوسط درجات الحرارة على سطح الكرة الأرضية كلها بمقدار درجة واحدة على مقياس فهرنهايت، كما جعل بالإمكان حساب كم الملوثات اللازمة لتقليل درجات الحرارة في العالم. ومع أن هذا الاقتراح في غاية الجدية، فإن بعض منتقديه يشككون في قدرته على حل المشكلة وحده. والحقيقة أننا لا نعرف الكثير عن قدر ضخامة كمية الملوثات التي يمكن لها أن تؤثر على درجات الحرارة في العالم. وربما كانت الفوائد قصيرة العمر، أو كانت الآثار الجانبية غير المقصودة أسوأ من المشكلة الأصلية نفسها. فمثلا، كان هناك انخفاض مفاجئ في معدل هطول الأمطار عالميا بعد انفجار بركان جبل بيناتوبو. فإذا وقع خطأ ما في التجربة، فإنه قد يؤدي أيضا لجذب كبير في أنحاء العالم. وتشير تقديرات التكلفة لحاجتنا إلى 100 مليون دولار لإجراء الاختبارات الميدانية الأولية. ولما كان أثر غبار الكبريت مؤقتا، فسيتكلف الأمر 8 مليارات دولار سنويا على أقل تقدير لحقن كميات كبيرة من ذلك الغبار في طبقات الغلاف الجوي العليا بانتظام.

- إنشاء مزارع للطحالب: ينادي مقترح آخر بإلقاء الكيماويات المكونة في الأساس من الحديد في المحيطات. وستسبب تلك المغذيات المعدنية في نمو الطحالب بوفرة في المحيطات، وهو ما سيزيد بدوره من كمية غاز ثاني أكسيد الكربون التي تمتصها الطحالب. لكن بعد أن أعلنت شركة (بلانكتوس) Planktos، وهي شركة تتخذ من ولاية كاليفورنيا مقرا

لها، أنها ستبدأ في جهد من جانب واحد لتسميد جزء من شمال المحيط الأطلسي بالحديد - على أمل إحداث تكاثر متعمد لبراعم العوالق البحرية بحيث تمتص غاز ثاني أكسيد الكربون من الهواء بعد ذلك - أصدرت البلدان الملتزمة بميثاق لندن London Convention - الذي ينظم عملية إلقاء المخلفات في البحار - ما يسمى (بيان انزعاج) من هذه المحاولة. وكذلك دعت إحدى مجموعات الأمم المتحدة إلى إيقاف مثل هذه التجارب مؤقتا. وانتهت تلك التجربة عندما نفذ التمويل من شركة بلانكتوس.

- عزل الكربون: هناك مقترح ثالث يقضي بعزل الكربون، وهي عملية يتم بواسطتها تسهيل ثاني أكسيد الكربون المنبعث من محطات الطاقة التي تعمل بإحراق الفحم، ثم فصله عن البيئة، ربما بدفنه تحت سطح الأرض. ورغم أن هذا المقترح قد يفلح من حيث المبدأ، فإن العملية باهظة التكلفة، ولا يمكنها التخلص من ثاني أكسيد الكربون الذي أطلق بالفعل في الجو. وفي عام 2009، كان المهندسون يراقبون بعناية أول اختبار كبير لحبس الكربون، إذ تم تعديل محطة الطاقة الضخمة (ماونتينير) Mountaineer، التي شُيِّدت عام 1980 في ويست فيرجينيا، لعزل ثاني أكسيد الكربون عن البيئة، مما جعلها أول محطة في الولايات المتحدة لتوليد الكهرباء وحررق الفحم تجرب عملية العزل. وكان من المخطط أن يتم حقن الغاز المسال على بعد 7800 قدم تحت سطح الأرض، في طبقة من الدولوميت في النهاية، على أن يشكل الغاز كتلة بارتفاع ثلاثين إلى أربعين قدما وبطول مئات الياردات. هذا وتخطط الشركة المالكة للمحطة، وهي شركة (أمريكان إلكتريك باور) American Electric Power، لحقن 100000 طن من ثاني

أكسيد الكربون سنويا لمدة سنتين إلى خمس سنوات. ويمثل هذا الكم 1.5 في المائة فقط من الانبعاثات السنوية للمحطة، لكن يمكن لهذا النظام في النهاية أن يستوعب ما يصل إلى 90 في المائة. وتبلغ قيمة التكاليف المبدئية نحو 73 مليون دولار. بيد أنه إذا نجح الأمر، فمن الممكن تعميم هذا النموذج بسرعة في مواقع أخرى، مثل أربعة مصانع قريبة عملاقة لحرق الفحم تولد 6 مليارات وات من الطاقة (وهو قدر هائل من الطاقة منح تلك المنطقة اسم (وادي الميجاوات) Megawatt Valley). لكن تبقى هناك علامات استفهام كبيرة بشأن عملية عزل الكربون: فليس واضحا ما إذا كان ثاني أكسيد الكربون سیرتحل من موضعه في النهاية، أو ما إذا كان الغاز سيمتزج بالماء، ربما ليشكل حمضا كربونيا قد يسمم المياه الجوفية. غير أنه إذا حقق المشروع النجاح، فمن الممكن جدا أن يشكل جزءا من مزيج من التقنيات التي تستخدم في التعامل مع ظاهرة الاحتباس الحراري.

- الهندسة الوراثية: يوصي اقترح آخر باستخدام الهندسة الوراثية لإيجاد أشكال من الحياة يمكنها امتصاص كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون. ومن أبرز المؤيدين المتحمسين لهذا الأسلوب جيه. كريج فينتر J. Craig Venter الذي حقق الشهرة والثروة من خلال ريادته في ابتكار تقنيات عالية السرعة أدت إلى ترتيب الجينوم البشري<sup>(1)</sup> human genome بنجاح قبل سنوات من الجدول الزمني المحدد لذلك. يقول

(1) الجينوم البشري human genome: كامل المادة الوراثية المكونة من الحمض الريبي النووي منزوع الأكسجين الذي يعرف اختصاراً باسم دي إن إيه (DNA). ويحتوي الجينوم البشري على ما بين 20 - 25 ألف جين (المورثات) موجودة في نواة الخلية، مرتبة على هيئة ثلاثة وعشرين زوجاً من الكروموسومات (الصغيات). (المترجم)

فينتر: (إننا ننظر للجينوم باعتباره برنامج الخلية، أو حتى نظام التشغيل الخاص بها). ويهدف فينتر إلى إعادة كتابة هذا البرنامج بحيث يمكن تعديل الجراثيم جينيا، أو حتى تشكيلها من العدم تقريبا، ليتمكنها امتصاص ثاني أكسيد الكربون من مصانع حرق الفحم، وتحويله إلى مواد مفيدة، كغاز طبيعي مثلا. ويضيف فينتر: (هناك بالفعل آلاف، وربما ملايين، من الكائنات الحية التي تعرف كيف تفعل هذا على سطح كوكبنا). وتكمن البراعة في تعديل تلك الجراثيم بحيث يمكنها زيادة إنتاجها والازدهار في مصنع لحرق الفحم. يقول فينتر بتفاؤل: (إننا نعتقد أن هذا المجال يحظى بإمكانيات هائلة تمكنه من القيام مكان الصناعات البتروكيماوية، ربما في غضون عقد واحد من الزمن).

ويؤيد فريمان ديسون Freeman Dyson، وهو عالم فيزياء بجامعة برينستون Princeton، شكلا آخر من أشكال الهندسة الوراثية؛ وهو خلق نوع من الأشجار المهندسة وراثيا يكون نهما لامتصاص ثاني أكسيد الكربون. ويزعم فريمان أن تريليونا من هذه الأشجار ربما كان كافيا للتحكم في ثاني أكسيد الكربون في الجو. وفي ورقته البحثية يتساءل: (هل يمكننا السيطرة على ثاني أكسيد الكربون في الجو؟). ويجب مؤيدا إنشاء ما أسماه (بنك الكربون) من (أشجار سريعة النمو) لتنظيم مستويات ثاني أكسيد الكربون.

لكن، كما هي الحال مع أي خطة لاستخدام الهندسة الوراثية على نطاق واسع، لا بد أن نحذر الآثار الجانبية؛ فنحن لا نستطيع التخلص من أحد أشكال الحياة بالطريقة ذاتها التي نتخلص بها من سيارة معيبة. فبمجرد

إطلاق أحد أشكال الحياة المهندسة وراثيا في البيئة، قد يكون لذلك آثار غير مقصودة على أشكال أخرى من الحياة، خاصة إذا كان سيحل محل نوع محلي من النباتات، ويخل بتوازن سلسلة الغذاء.

ومن المحزن أنه كان هناك عدم اهتمام واضح من جانب السياسيين بتمويل أي من تلك الخطط والمقترحات. لكن في يوم من الأيام، سوف تصبح ظاهرة الاحتباس الحراري مؤلمة ومؤذية إلى حد يجد السياسيون أنفسهم معه مجبرين على تنفيذ إحداها.

وسوف تكون العقود القليلة القادمة الفترة الحرجة الحاسمة. فبحلول منتصف القرن، سنكون قد دخلنا عصر الهيدروجين، حيث سيؤدي بنا مزيج الاندماج النووي والطاقة الشمسية ومصادر الطاقة المتجددة إلى اقتصاد أقل اعتمادا بكثير على استهلاك الوقود الأحفوري. وسوف يوفر لنا مزيج قوى السوق والتطورات في تكنولوجيا الهيدروجين حلا طويلا الأجل لمشكلة الاحتباس الحراري في العالم. ومن ثم، ففترة الخطر هي الفترة الحالية؛ أي قبل قيام الاقتصاد المعتمد على الهيدروجين. فعلى المدى القصير، سيظل الوقود الأحفوري أرخص وسيلة لتوليد الطاقة؛ وبالتالي سيظل الاحتباس الحراري مصدرا للخطر لعقود تالية من الزمان.

## طاقة الاندماج النووي

بحلول منتصف القرن، سيظهر خيار جديد من شأنه تغيير قواعد اللعبة، وهو: الاندماج النووي. وأنداك، سيكون هذا الخيار الحل الأكثر صلاحية للتطبيق بين جميع الحلول التقنية، وربما وفر لنا حلا دائما للمشكلة.

ففي حين تعتمد طاقة الانشطار النووي على شطر ذرة اليورانيوم، على نحو يولد الطاقة (ويخلف كمية ضخمة من النفاية النووية)، تعتمد طاقة الاندماج على دمج ذرات الهيدروجين بواسطة حرارة هائلة، وهو ما ينتج طاقة أعظم بكثير جدا (بأدنى قدر من النفاية).

وعلى نقيض طاقة الانشطار، تحرر طاقة الاندماج الطاقة النووية للشمس. فمصدر الطاقة لهذا الكون كامن بعمق داخل ذرة الهيدروجين. نعم، فطاقة الاندماج النووي هي ما يضيء الشمس والسماء، وهي سر النجوم. وأيا كان من يستطيع ترويض طاقة الاندماج النووي بنجاح، سيحرر طاقة هائلة دائمة لا تنضب. ويأتي وقود مصانع الاندماج النووي تلك من مياه البحر العادية. ويطلق الاندماج النووي طاقة أكبر من البنزين بمقدار 10 ملايين ضعف؛ فزجاجة سعتها 8 أوقيات من الماء تساوي محتوى الطاقة لـ 500000 برميل من البترول.

إن الاندماج (وليس الانشطار) النووي لهو طريقة الطبيعة المفضلة في تزويد الكون بالطاقة. فعند تشكل النجوم، تنضغط كرة غازية غنية بالهيدروجين تدريجيا بفعل الجاذبية، إلى أن تبدأ حرارتها في الارتفاع إلى درجات هائلة. وعندما يصل الغاز إلى حوالي 50 مليون درجة أو نحو ذلك (وهي درجة متغيرة حسب الظروف المحددة لكل كتلة غاز)، تنسحق نويات الهيدروجين داخل الغاز مع بعضها بعضا حتى تصل لحالة الاندماج التي يتشكل عندها الهيليوم. وخلال تلك العملية، تحرر كميات هائلة من الطاقة تتسبب في اشتعال الغاز. (وعلى نحو أكثر دقة، لا بد أن يلبي الانضغاط شيئا يسمى (معيار لاوسون) Lawson's criterion

الذي ينص على ضرورة ضغط غاز هيدروجيني ذي كثافة معينة، بدرجة حرارة معينة، ولفترة زمنية معينة. فإذا تم الوفاء بتلك الشروط الثلاثة المتعلقة بالكثافة، ودرجة الحرارة، والوقت، يصبح لدينا تفاعل اندماجي، سواء كان قنبلة هيدروجينية، أو ميلاد نجم، أو اندماج نووي في مفاعل نووي). لذا فإن هذا هو الأساس: تسخين و ضغط غاز الهيدروجين إلى أن تندمج الأنوية، مطلقة كميات رهيبة من الطاقة.

غير أن محاولات سابقة لتسخير تلك الطاقة الكونية باءت بالفشل. ذلك أن تسخين غاز الهيدروجين لتصل حرارته إلى عشرات الملايين من الدرجات، وتندمج من ثم البروتونات <sup>(1)</sup> protons، مشكلة غاز الهيليوم، مطلقة كميات هائلة من الطاقة، لهو مهمة عسيرة إلى حد هائل.

علاوة على ذلك، فإن جمهور الناس متشكك في تلك الادعاءات، لأن العلماء يزعمون كل عشرين عاماً أن تسخير طاقة الاندماج النووي صار على بعد عشرين عاماً. لكن بعد عقود من المزايم المفرطة في التفاؤل، أصبح علماء الفيزياء مقتنعين على نحو متزايد بأن طاقة الاندماج النووي صارت أخيراً قاب قوسين أو أدنى، ربما في وقت ليس أبعد من عام 2030. وفي لحظة ما في منتصف القرن، قد نرى مصانع طاقة الاندماج النووي منتشرة في الريف.

وبالطبع فإن جمهور العامة محق في التشكك في إمكانية استغلال

(1) البروتون proton: جسيم كان يُظن في بادئ الأمر أنه جسيم أولي (لا يتكون من جسيمات أصغر)، لكن تبين فيما بعد خطأ هذا الزعم. وهو من مكونات الذرة، له شحنة كهربائية موجبة تعادل تماماً الشحنة التي يحملها الإلكترون، إلا أن الإلكترون شحنته سالبة. وكتلته ضعف كتلة الإلكترون. (المترجم)

طاقة الاندماج النووي، لأنه كانت هناك العديد من الحيل، والخدع، والإخفاقات في الماضي. ففي عام 1951، عندما كانت الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي، في خضم جنون الحرب الباردة، تسعيان على نحو محموم لتصنيع أول قنبلة هيدروجينية، أعلن الرئيس الأرجنتيني خوان بيرون Juan Peron، بجلبة شديدة وتغطية إعلامية مكثفة، أن علماء بلاده حققوا تقدما كبيرا في السيطرة على طاقة الشمس. وقد حقق الخبر انتشارا واسعا، وبدأ أنه لا يصدق، لكنه وصل إلى صفحة غلاف نيويورك تايمز New York Times. وأخذ بيرون يتباهى بأن الأرجنتين حققت تقدما علميا كبيرا فشلت في تحقيقه القوتين العظميين. وكان عالم يتحدث الألمانية، اسمه رونالد ريشتر Ronald Richter، قد أقنع بيرون بتمويل (الثيرموترون) thermotron الذي اخترعه، والذي يبشر بتوليد طاقة غير محدودة، ومجد خالد للأرجنتين.

وقد أعلن مجتمع العلماء الأمريكيين، الذي كان ما يزال يكافح مع الاندماج النووي في سباقه المحموم مع روسيا لإنتاج القنبلة الهيدروجينية، أن الادعاء الأرجنتيني سخيف وغير منطقي. ولقد قال العالم الذري رالف لاب Ralf Lapp بهذا الصدد: (إنني أعرف تلك المادة الأخرى التي يستخدمها الأرجنتينيون؛ إنها الهراء).

وسرعان ما أطلقت الصحافة على الإعلان الأرجنتيني اسم (قنبلة الهراء). وعندما سُئل العالم الذري ديفيد ليلينثال David Lilienthal عما إذا كانت هناك (أدنى فرصة) أن يكون الأرجنتينيون محقين، صاح مجيبا: (ولا أدنى فرصة).



وفي مواجهة الضغوط الشديدة، أصر بيرون على موقفه ببساطة، مشيراً إلى أن القوتين العظيمين حانقتان، لأن الأرجنتين سبقتهما. ثم حانت لحظة الحقيقة أخيراً في العام التالي، عندما زار مندوبو بيرون معمل ريشتر الذي تصرف بتوتر وغبابة بعدما تعرض للضغط. فحينما وصل المفتشون، نسف باب المعمل باستخدام خزانات من الأكسجين، ثم كتب على ورقة كلمتي: (الطاقة الذرية). وقد طلب أن يتم حقن البارود في المفاعل؛ وكان الرأي النهائي أنه شخص مجنون على الأرجح. وعندما وضع المفتشون قطعة من الراديو إلى جوار (عدادات الإشعاع) في معمل ريشتر، لم يحدث أي شيء، لذا كان من الواضح أن معداته وأجهزته زائفة؛ وقد ألقى القبض عليه فيما بعد.

غير أن الحالة الأكثر شهرة كانت حالة ستانلي بونز Stanley Pons ومارتن فليشمان Martin Fleischmann؛ وهما عالما كيمياء يحظيان بالاحترام من جامعة يوتاه University of Utah زعما، في عام 1989، أنهما أتقنا ما أسمياه (الاندماج البارد)؛ وهو ما يعني الاندماج في درجة حرارة الغرفة. وقد زعم العالمان أنهما وضعاً في الماء عنصر البالاديوم الذي تسبب بعد ذلك، بطريقة سحرية ما، في ضغط ذرات الهيدروجين إلى أن اندمجت لتشكيل الهيليوم، على نحو أطلق طاقة هائلة فوق سطح منصدة. ولقد كانت صدمة العالم فورية. فوضعت جميع صحف العالم تقريرا هذا الخبر في صدر صفحاتها الأولى. وبين عشية وضحاها، أصبح الصحفيون يتحدثون عن نهاية أزمة الطاقة، وقرب بداية عصر جديد من الطاقة غير المحدودة. وأصبحت وسائل الإعلام العالمية بالجنون في تغطية الحدث.

وسرعان ما اعتمدت ولاية يوتاه مبلغ 5 ملايين دولار لإنشاء معهد وطني للاندماج البارد National Institute for Cold Fusion. وحتى شركات صناعة السيارات اليابانية بدأت في التسرع بملايين الدولارات لدعم الأبحاث في هذا المجال الجديد. وإجمالاً، بدأت متابعة فكرة الاندماج البارد تظهر وكأنها نوع من العبادات.

وعلى خلاف ريشتر، كان بونز وفليشمان عالمان محترمين في أوساط العلماء سرهما أن يشركا الآخرين في نتائجهما؛ فقد عرضا أجهزةتهما ومعلوماتهما ليراهما العالم كله.

لكن الأمور تعقدت بعد ذلك. فلما كانت الأجهزة في غاية البساطة، حاولت مجموعات من العلماء في جميع أنحاء العالم تكرار تلك النتائج المذهلة. ومع الأسف، فشلت معظم تلك المجموعات في إنتاج أي عملية إطلاق للطاقة؛ وهو ما أعلن نهاية فكرة الاندماج البارد. بيد أن القصة ظلت حية بسبب ظهور مزاعم متفرقة بأن مجموعات معينة استطاعت تكرار التجربة بنجاح.

وأخيراً، أدلى مجتمع العلماء برأيه في المسألة. فقد قاموا بتحليل معادلات بونز وفليشمان، ووجدوها ناقصة. أولاً، لأنه إذا كانت مزاعمهما صحيحة، لكان وابل محرق من النيوترونات<sup>(1)</sup> neutrons قد انبعث من كوب الماء، وقتل بونز وفليشمان (ففي تفاعل اندماجي تقليدي، ترتطم

(1) النيوترون neutron: جسيم تحت ذري، كان يظن أنه جسيم أولي (لا يتكون من جسيمات أصغر)، لكن تبين فيما بعد خطأ هذا الزعم. وهو موجود في أنوية الذرات، كما يمكن أن يوجد خارجها، حيث يدعى بالنيوترون الحر. ولأنه غير مشحون، كان من الصعب اكتشافه أو التحكم به؛ مما أدى لتأخر اكتشافه. (المترجم)

نواتا هيدروجين ببعضهما، وتندمجان، مولدتين الطاقة، ونواة هيليوم، ونيوترونا). لذا فإن حقيقة أن بونز وفليشمان ما زالا على قيد الحياة تعني أن التجربة لم تنجح. فلو أن تجاربهما أنتجت اندماجا باردا، لكانا قد ماتا بسبب حروق الإشعاع. ثانيا، من المحتمل جدا أن بونز وفليشمان قد صنعا تفاعلا كيميائيا وليس تفاعلا نوويا حراريا. وأخيرا، حسب ما استنتج العلماء، فإن عنصر البالاديوم لا يمكنه ربط ذرتين من الهيدروجين بالقرب الكافي لجعل الهيدروجين يندمج ويتحول إلى هيليوم. ولكن هذا يشكل انتهاكا لقوانين نظرية الكم.

وعامة، لم ينته الجدل حول ذلك الأمر حتى يومنا هذا. فما زالت هناك دعاوى عارضة بين الحين والآخر بأن أحدهم حقق الاندماج البارد. وتكمن المشكلة في أن لم يستطع صنع الاندماج البارد على نحو متعمد وموثوق. وعلى أي حال يبقى السؤال: ما جدوى صنع محرك سيارة إذا كان سيعمل فقط بين الحين والآخر؟ إن العلم يقوم على نتائج قابلة للتكرار، والاختبار، ويمكن محاكاتها بنجاح في كل مرة.

## الاندماج الحار

لا شك أن فوائد ومزايا طاقة الاندماج النووي هائلة وعظيمة إلى حد جعل الكثير من العلماء يهتمون بشدة بنداؤها المغوي.

وعلى سبيل المثال، يولد الاندماج النووي قدرا أدنى من التلوث؛ فهو نظيف نسبيا، وهو وسيلة الطبيعة في تزويد الكون بالطاقة. فأحد المنتجات الثانوية للاندماج النووي غاز الهيليوم، وهو في الواقع ذو قيمة تجارية.

وهناك مكون آخر، هو حديد حجرة الاندماج ذو النشاط الإشعاعي، الذي ينبغي دفنه في النهاية، وهو ينطوي على خطر معتدل لا يستمر سوى لبضعة عقود قليلة. وإجمالاً، فإن محطة اندماج نووي ستنتج كما ضئيلاً من النفايات النووية، مقارنة بمحطة نووية تعمل بانسطار اليورانيوم (هذه الأخيرة تنتج ثلاثين طناً من النفايات النووية عالية مستوى الخطورة كل عام، وتظل خطيرة لآلاف إلى ملايين السنين).

كما أن مصانع الاندماج النووي لا يمكن أن تتعرض لانهيار كارثي. بخلاف مصانع انسطار اليورانيوم التي تكون دوماً عرضة لهذا الانهيار، لأنها تحتوي على أطنان من المخلفات النووية عالية مستوى الخطورة في قلبها. وتولد تلك المخلفات، حتى بعد إيقاف التشغيل، كميات هائلة من الحرارة يمكنها أن تصهر الحديد الصلب، وتصل إلى المياه الجوفية، متسببة في انفجار بخاري، وفي كابوس حادث (متلازمة الصين)<sup>(1)</sup> China Syndrome.

إن مصانع الاندماج النووي أكثر أماناً في ذاتها. بل إن الحديث عن انصهار مفاعل اندماج نووي يشكل تناقضاً في المفاهيم والمصطلحات لا محل له. فمثلاً، إذا تم إغلاق المجال المغناطيسي لمفاعل اندماج نووي، فإن البلازما الساخنة ستصطدم بجدران الغرفة، وتتوقف عملية الاندماج على الفور. وهكذا، فإن مصانع الاندماج النووي، بدلاً من أن تتعرض لتفاعل

(1) متلازمة الصين China Syndrome: اسم فيلم أمريكي، بطولة: جين فوندا وجاك ليون، يتناول احتمال انفجار مفاعل نووي على نحو يصل تأثيره إلى الجانب المقابل من الأرض (عن طريق شق حفرة عبر باطن الأرض). (المترجم)

متسلسل سريع، توقف نفسها تلقائياً في حال وقوع حادث. يقول فاروق نجم عبادي Farrokh Najmabadi، مدير مركز أبحاث الطاقة Center for Energy Research بجامعة كاليفورنيا في سان دييغو University of California at San Diego: (حتى إذا دمرت المحطة، فإن مستوى الإشعاع على مسافة كيلومتر واحد خارج سياج المحطة سيكون ضئيلاً للغاية إلى حد لا يتوجب معه إجراء عملية إخلاء لسكان المنطقة). وعلى الرغم من أن طاقة الاندماج النووي، على نطاق تجاري، تتمتع بكل هذه المزايا المدهشة، فإن هناك معلومة صغيرة ناقصة مفادها أن هذه الطاقة غير موجودة. فليس هناك أحد قد تمكن بعد من إنشاء محطة اندماج نووي قيد التشغيل.

إلا أن الفيزيائيين متفائلون بحذر. يقول ديفيد إي. بالدوين David E. Baldwin، من مؤسسة (جنرال أتومكس) General Atomics، الذي يشرف على واحد من أكبر مفاعلات الاندماج النووي في الولايات المتحدة: (منذ عقد من الزمان، تشكك بعض العلماء في إمكانية إتمام الاندماج النووي بنجاح. ويبقى السؤال: هل سيكون عملياً من الناحية الاقتصادية، أم لا؟).

## منشأة الإشعاع الوطنية: الاندماج بالليزر

يمكن أن يتغير كل هذا بصورة جذرية خلال السنوات القليلة المقبلة. فهناك العديد من الطرق التي يتم تجربتها على نحو متزامن. وبعد عقود من البدايات الخاطئة، أصبح علماء الفيزياء مقتنعين بأنهم سيحققون الاندماج

النووي في نهاية الأمر. ففي فرنسا، يوجد المفاعل النووي الحراري الدولي التجريبي International Thermonuclear Experimental Reactor (المعروف اختصاراً باسم (أيتـر) ITER)، والذي تدعمه عدة دول أوروبية، بالإضافة إلى الولايات المتحدة واليابان وغيرهما من الدول. وفي الولايات المتحدة، هناك منشأة الإشعال الوطنية National Ignition Facility (واختصاراً NIF).

ولقد واتتني فرصة زيارة آلة الاندماج بالليزر المستخدمة في (منشأة الإشعال الوطنية) (NIF)، وكان منظرها هائلاً. وبسبب ارتباطه الوثيق بالقنابل الهيدروجينية، فإن مفاعل منشأة الإشعال الوطنية يقع في معمل (لورنس ليفرمور الوطني) Lawrence Livermore National Laboratory الذي يصمم فيه الجيش الصواريخ الحربية الهيدروجينية. وكان لابد لي من عبور العديد من مستويات الأمان، لأتمكن في النهاية من الدخول.

وعندما وصلت للمفاعل، كانت التجربة مهيبة بحق. فرغم أنني معتاد على رؤية أجهزة الليزر في معامل الجامعات (في الحقيقة، يقع واحد من أكبر معامل الليزر في ولاية نيويورك تحت مكتبي مباشرة، في جامعة مدينة نيويورك City University of New York)، فإن رؤية منشأة الإشعال الوطنية (NIF) كانت مبهرة. فالجهاز موضوع في مبنى مكون من عشرة طوابق بحجم ثلاثة ملاعب كرة، ويطلق 192 شعاع ليزر ضخماً لأسفل عبر نفق طويل. إنها أكبر منظومة ليزر في العالم أجمع، إذ يولد طاقة أكبر بستين ضعفاً من أي جهاز سبقه.

وبعد إطلاق أشعة الليزر تلك، عبر ذلك النفق الطويل، تصطدم في

النهاية بنسق من المرايا يعمل على تركيز كل شعاع على هدف ضئيل بحجم رأس الدبوس، يتكون من الدوتيريوم والترتيوم (وهما نظيران من نظائر الهيدروجين). وهكذا، على نحو مدهش، يتم تركيز 500 تريليون وات من طاقة الليزر على حبة صغيرة لا تكاد تُرى بالعين المجردة، مما يرفع درجة حرارتها إلى 100 مليون درجة، وهي درجة أكثر حرارة بكثير من درجة حرارة قلب الشمس (تعادل تلك الطاقة الرهيبة مخرجات نصف مليون محطة للطاقة النووية في لحظة وجيزة). وسرعان ما يتبخّر سطح تلك الحبة الصغيرة، وهو ما يطلق موجة صدمة تهدم الحبة، وتطلق طاقة الاندماج.

وتجدر الإشارة إلى أن التجربة اكتملت عام 2009، وهي الآن تحت الاختبار. وإذا سارت الأمور على خير ما يرام، قد يكون هذا أول جهاز يولد طاقة بقدر ما يستهلكها. وعلى الرغم من أن هذا الجهاز ليس مصمما لتوليد الطاقة الكهربائية على نطاق تجاري، فإنه مصمم ليبرهن على أن أشعة الليزر يمكن تركيزها لتسخين المواد الغنية بالهيدروجين، وتوليد طاقة صافية منها.

ولقد تحدثت مع أحد مديري منشأة الإشعال الوطنية، وهو إدوارد موسيس Edward Moses، بشأن آماله وأحلامه لهذا المشروع. وأول ما لفست نظري في هذا العالم الذي يرتدي خوذة غليظة أنه كان أشبه بعمال البناء منه بعالم فيزياء من الطراز الأول مسئول عن أكبر معمل ليزر في العالم أجمع. وقد اعترف لي إدوارد أنه كانت هناك العديد من البدايات الخاطئة في الماضي، وأنه يعتقد أن هذا الجهاز هو البداية الحقيقية الصحيحة؛ فقد

كان هو وأفراد فريقه على وشك تحقيق إنجاز مهم سيجد طريقه إلى كتب التاريخ بلا شك، وهو اقتباس قدر من طاقة الشمس على الأرض لأول مرة على نحو سلمي. والحقيقة أنه عند التحدث مع مثل هذا العالم، يدرك المرء كيف تبقى مشاريع مثل مشروع منشأة الإشعال الوطنية (NIF) حية بفضل حماس وطاقة المؤمنين الحقيقيين بها. ذلك الحماس الذي رأيته في عيني إدوارد وهو يخبرني أنه ينتظر اليوم الذي يستطيع فيه دعوة رئيس الولايات المتحدة لزيارة معمله لإعلان الحدث التاريخي.

والملفت أن بداية مشروع منشأة الإشعال الوطنية كانت سيئة (بل إن أشياء غريبة قد حدثت؛ كإرغام المدير المساعد السابق للجهاز إي. مايكل كامبل E. Michael Campbell على الاستقالة في عام 1999، عندما اكتُشف أنه كذب بشأن حصوله على درجة الدكتوراه من جامعة برينستون). ثم بدأ تاريخ الانتهاء، المحدد له عام 2003، في التراجع. وتضاعفت التكاليف، إذ قفزت من مليار دولار إلى 4 مليارات دولار. وأخيراً، انتهى المشروع في مارس 2009، بعد تأخير مدته ست سنوات كاملة.

وصدق من قال إن (الشتر يكمن في التفاصيل). ففي الاندماج بالليزر، على سبيل المثال، يجب على أشعة الليزر البالغ عددها 192 أن تصطدم بسطح حبة ضئيلة بأكبر قدر ممكن من الدقة، بحيث تتفجر الحبة داخلياً على نحو متوازن. ولا بد أن تصطدم الأشعة بهذا الهدف الصغير بفواصل زمني بينها وبين بعضها لا يتجاوز 30 من تريليون جزء من الثانية. وأدنى قدر من عدم الاتساق بين أشعة الليزر، أو من انحراف الحبة، سوف يعني أن حرارتها سترتفع على نحو غير متسق، مما يؤدي إلى انفجارها للخارج



من أحد الجوانب، بدلا من الانفجار للداخل على نحو دائري. وإذا كانت الحبة غير منتظمة بمقدار 50 نانومترا (أو حوالي 150 ذرة)، فلن يمكنها كذلك الانفجار داخليا على نحو متساوٍ. (يشبه هذا محاولة إلقاء كرة بيسبول في نطاق منطقة الضرب من مسافة 350 ميلا). وهكذا، يتضح أن انتظام أشعة الليزر واستواء الحبة هما المشكلتان الرئيسيتان اللتان تواجهان الاندماج بالليزر.

وبالإضافة إلى منشأة الإشعال الوطنية (NIF)، يدعم الاتحاد الأوروبي نسخة خاصة به من الاندماج النووي. وسوف يتم بناء المفاعل التابع للاتحاد الأوروبي في مبنى أبحاث طاقة الليزر عالية القدرة High Power Laser Energy Research Facility (المعروف اختصارا باسم (هاير) (HiPER). وهو مفاعل أصغر حجما، لكن ربما كان أكثر كفاءة من منشأة الإشعال الوطنية الأمريكية، إذ سيبدأ إنشاء مبنى أبحاث طاقة الليزر عالية القدرة (هاير) عام 2011.

وعموما، تتعلق آمال كثيرين على منشأة الإشعال الوطنية (NIF). لكن حتى إذا لم يفلح الاندماج بالليزر على النحو المتوقع له، فهناك مقترح آخر، بل وأكثر تطورا، لصنع الاندماج المتحكم فيه؛ وهو: وضع الشمس في زجاجة.

## أيترا: الاندماج النووي في مجال مغناطيسي

تصميم آخر يتم استثماره في فرنسا - في (المفاعل النووي الحراري الدولي التجريبي) International Thermonuclear Experimental Reactor، المعروف اختصارا باسم (أيترا) (ITER) - يستخدم المجالات

المغناطيسية لاحتواء غاز الهيدروجين الساخن. وبدلاً من استخدام أشعة الليزر لهدم حبة صغيرة من مادة غنية بالهيدروجين، يستخدم مفاعل (أيتز) مجالا مغناطيسيا لضغط غاز الهيدروجين ببطء. ويبدو الجهاز شديد الشبه بكعكة مجوفة عملاقة مصنوعة من الصلب، محاطة كلياً بملفات مغناطيسية. وهذا المجال المغناطيسي يحافظ على وجود غاز الهيدروجين داخل الغرفة التي تأخذ شكل الكعكة، ويمنعه من التسرب. ومن ثم، يتم تمرير تيار كهربائي قوي عبر الغاز ليسخنه. فيتسبب مزيج ضغط الغاز بواسطة المجال المغناطيسي وتمرير التيار الكهربائي من خلاله في زيادة درجة حرارته إلى عدة ملايين من الدرجات.

جدير بالذكر أن فكرة استخدام (زجاجة مغناطيسية) لصنع الاندماج ليست بالفكرة الجديدة؛ فهي ترجع إلى خمسينات القرن العشرين في واقع الأمر. لكن لماذا استغرق الأمر كل هذا الوقت، بكل هذه التأخيرات، لنشر طاقة الاندماج على نطاق تجاري؟

إن المشكلة تكمن في أن المجال المغناطيسي لابد أن يكون شديد الدقة، بحيث يتم ضغط الغاز على نحو متساو، دون أن ينتفخ أو يصبح غير منتظم. فكر في أن تأخذ بالونا، وتحاول ضغطه بيديك، بحيث يضغط على نحو متساوٍ دون أن ينفجر. ستجد أن البالون ينبعج للخارج من الفجوات الواقعة بين يديك، مما يجعل الضغط الموحد شبه مستحيل. لذا فإن المشكلة تكمن في عدم الاستقرار، وهي ليست مشكلة فيزيائية وإنما مشكلة هندسية.

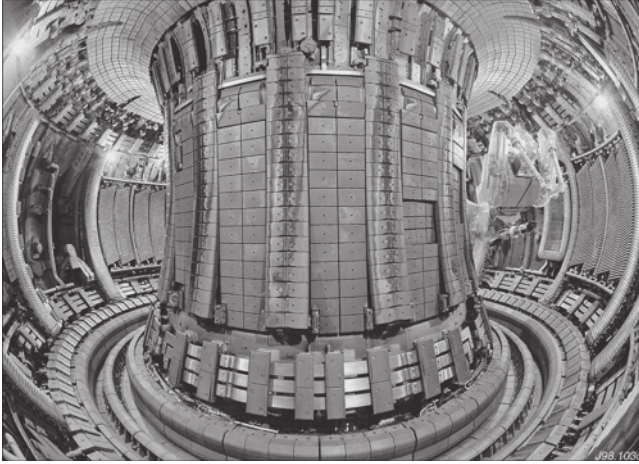
قد يبدو هذا غريباً عندما نعلم أن النجوم تضغط غاز الهيدروجين بسهولة، صانعة تريليونات النجوم التي نراها في كوننا. فالطبيعة إذن

تخلق النجوم في السماء بلا جهد يذكر! فلماذا لا نستطيع فعل ذلك على الأرض؟ إن الإجابة عن هذا السؤال تدل على فارق بسيط، لكنه عميق، بين الجاذبية والكهر ومغناطيسية.

فالجاذبية - كما يوضحها نيوتن - جاذبة على نحو صارم؛ لذا فإن جذب غاز الهيدروجين في النجوم يؤدي لضغطه في صورة كرة مستوية تماما (وهذا هو السبب الذي يجعل النجوم والكواكب تأخذ الشكل الكروي، وليس المكعب أو المثلث). لكن الشحنات الكهربائية تأتي في صورتين: موجبة وسالبة. فلو قمنا بتجميع كرة من الشحنات السالبة، فإنها ستدفع بعضها بعضا، وتشتت في كل الاتجاهات. أما إذا وضعنا شحنات موجبة وسالبة معا، فسنحصل على ما يسمى (قطب مزدوج)، بمجموعة معقدة من خطوط المجال الكهربائي تشبه شبكة العنكبوت. وبالمثل، فإن المجالات المغناطيسية تشكل قطبا مزدوجا؛ لذا فإن ضغط الغاز الساخن على نحو متساوٍ داخل غرفة على شكل كعكة مخوفة، مهمة في غاية الصعوبة. وفي الواقع، يتطلب الأمر جهاز كمبيوتر فائقا لرسم المجالات المغناطيسية والكهربائية المنبعثة من ترتيب بسيط للإلكترونات. ويتلخص الأمر في: الجاذبية تجذب، ويمكنها أن تضغط الغاز على نحو متساوٍ في صورة كرة. فيمكن للنجوم أن تتشكل بسهولة، لكن الكهر ومغناطيسية جاذبة طاردة في الوقت نفسه؛ لذا فإن الغازات تنبج للخارج بطرق معقدة عندما يتم ضغطها، مما يجعل الاندماج المتحكم فيه أمرا فائق الصعوبة. وتلك هي المشكلة الأساسية التي عاندت الفيزيائيين طوال خمسين عاما.



حتى الآن. الفيزيائيون يزعمون حالياً أن مفاعل (أيتر) استطاع أخيراً فك عُقد مشكلة الاستقرار بواسطة العزل المغناطيسي. إن جهاز (أيتر) أحد أكبر المشاريع العلمية الدولية التي أقيمت حتى الآن. ويتكون قلب الجهاز من غرفة معدنية على شكل كعكة، ويزن بكامله 23000 طن، وهو وزن يتجاوز كثيراً وزن برج إيفل الذي يزن 7300 طن فقط.



نوعان من الاندماج. على يسار الصورة، تقوم أشعة الليزر بضغط حبة من مواد غنية بالهيدروجين. وعلى اليمين، تقوم المجالات المغناطيسية بضغط غاز يحتوي على الهيدروجين. وبحلول منتصف القرن، قد يستمد العالم طاقته من الاندماج النووي.

ومكونات المفاعل ثقيلة للغاية إلى حد أنه كان لابد من إجراء تعديلات خاصة على الطرق التي ستنقل عليها. وستقوم قافلة كبيرة من الشاحنات بنقل المكونات التي يزن أثقلها 900 طن، ويبلغ أطولها ارتفاع أربعة طوابق. وسيكون مبنى مفاعل (أيتز) نفسه بارتفاع تسعة عشر طابقاً، وسيقام على منصة عملاقة بحجم ستين ملعب كرة قدم. ومن المتوقع أن تصل تكلفته إلى 10 مليارات يورو، وهي تكلفة سيتحملها سبعة أعضاء مشتركين في المشروع (الاتحاد الأوروبي، والولايات المتحدة، والصين، والهند، واليابان، وكوريا، وروسيا).

وعندما يبدأ المفاعل في العمل أخيراً، سيقوم بتسخين غاز الهيدروجين إلى 270 مليون درجة بمقياس فهرنهايت، وهي درجة تفوق كثيراً الـ 27 مليون درجة الموجودة في قلب الشمس. وإذا سارت الأمور كما ينبغي، فسوف يولد المفاعل 500 ميغاوات من الطاقة، وهو قدر يبلغ عشرة أضعاف الطاقة المستخدمة في تشغيله (الرقم القياسي الحالي لطاقة الاندماج هو 16 ميغاوات، وهو الرقم الذي حققه المفاعل الأوروبي المسمى (جيت) JET - وهو اختصار لـ (الحلقة الأوروبية المشتركة) Joint European Torus - القائم في مركز (كالهام ساينس سنتر) Culham Science Center، في أكسفوردشاير بالمملكة المتحدة). وقد أصبح الموعد المحدد للوصول إلى نقطة التعادل للمشروع، بعد بعض التأخيرات، هو عام 2019.

وعلي أي حال، ما زال مفاعل (أيتر) مجرد مشروع علمي حتى الآن؛ فهو ليس مصمماً لإنتاج الطاقة على نطاق تجاري. غير أن الفيزيائيين يضعون الآن بالفعل أساس الخطوة التالية، إذ يأخذون طاقة الاندماج إلى الأسواق التجارية. وقد اقترح فاروق نجم عبادي، الذي يقود مجموعة عمل تدرس التصميمات التجارية لمصانع الاندماج، بناء جهاز أصغر من مفاعل (أيتر)، أسماه (آريس - أت) (ARIES - AT)، ينتج مليار وات بسعر 5 سنتات تقريباً لكل كيلووات في الساعة، مما يجعله قادراً على منافسة الوقود الأحفوري. لكن نجم عبادي، شديد التفاؤل بشأن طاقة الاندماج، يعترف بأن طاقة الاندماج لن تكون جاهزة للاستخدام التجاري واسع النطاق قبل منتصف القرن.

وهناك تصميم تجاري آخر؛ هو مفاعل الاندماج (ديمو) (DEMO). وفي حين تم تصميم مفاعل (أيتر) لإنتاج 500 ميغاوات لمدة 500 ثانية كحد أدنى، فإن مفاعل (ديمو) سيتم تصميمه لتوليد الطاقة على نحو مستمر. كما يضيف مفاعل (ديمو) خطوة إضافية يفتقر إليها (أيتر). فعندما يحدث الاندماج، يتكون نيوترونا إضافيا، وسرعان ما يهرب هذا النيوترون من الغرفة. غير أنه من الممكن إحاطة الغرفة بغلاف خارجي خاص، يسمى الغطاء، مصمم خصيصا لامتصاص طاقة هذا النيوترون. ومن ثم، ترتفع درجة حرارة هذا الغطاء. وفي ظل وجود أنابيب تحمل الماء داخل الغطاء، فإن هذا الماء يغلي بفعل ارتفاع درجة الحرارة، ويندفع البخار الناتج عن ذلك نحو شفرات مولد توربيني يولد الكهرباء.

وإذا سارت الأمور على ما يرام، فسيبدأ مفاعل (ديمو) في العمل عام 2033. وسوف يكون أكبر بنسبة 15 في المائة من مفاعل (أيتر). وسوف يولد طاقة أكبر من التي يستهلكها بمقدار خمس وعشرين مرة. وإجمالا، من المتوقع أن يولد المفاعل ملياري وات من الطاقة، مما يجعله مشابها لمحطة توليد طاقة تقليدية. وإذا نجح مفاعل (ديمو)، فمن الممكن أن يؤدي إلى نشر هذه التكنولوجيا تجاريا بسرعة.

لكن تظل هناك العديد من الشكوك. فقد حظي مفاعل (أيتر) بالفعل على الأموال اللازمة لبنائه. ولما كان مفاعل (ديمو) ما يزال في مراحل التخطيط، فمن المتوقع أن تكون هناك تأخيرات.

هذا ويعتقد علماء الاندماج أنهم قد تجاوزوا الأزمة أخيرا. فبعد عقود من المبالغات والإخفاقات، باتوا يعتقدون أن الاندماج النووي أصبح في

متناول الأيدي. فهناك تصميمان وليس واحدا (منشأة الإشعال الوطنية، ومفاعل - أيتر) يمكن في النهاية أن يؤديا إلى وجود الكهرباء المتولدة من الاندماج في غرف معيشتنا. لكن، حيث إن أيا من منشأة الإشعال الوطنية أو مفاعل (أيتر) لم يولد بعد طاقة الاندماج على نطاق تجاري، فسيظل هناك مجال لما هو غير متوقع، مثل: الاندماج البارد، والاندماج الفقاعي bubble fusion.

## الاندماج البارد

ولما كانت المخاطر عظيمة، كان من المهم أيضا أن نقر بإمكانية حل المشكلة من اتجاه مختلف تماما، وغير متوقع على الإطلاق. ولأن الاندماج عملية محددة على نحو دقيق، قُدمت العديد من العروض التي تخرج عن الاتجاه التقليدي السائد للتمويل واسع النطاق، لكنها عروض بها بعض المزايا. وبعض هذه العروض قد تؤدي يوما إلى تحقيق الاندماج البارد. ولعلنا نتذكر ذلك المشهد الختامي من فيلم (العودة إلى المستقبل) Back to the Future، حيث كنا نرى دوك براون Doc Brown - ذلك العالم المجنون - يكافح للحصول على الوقود لآلة الزمن التي اخترعها. وبدلا من تزويد آلهة البنزين، فإنه يبحث في صناديق القمامة عن قشر الموز والنفاية، ثم يضع كل شيء داخل وعاء صغير أسماه (مستر فيوجن) Mr. Fusion.

نُرى، بعد مئة عام من الآن، هل سيتمكن تصميم ثوري من تقليص أجهزة ضخمة بحجم ملعب كرة قدم لتصبح بحجم آلة صنع القهوة،



كما رأينا في الفيلم؟

يسمى أحد الاحتمالات الجديدة لتحقيق الاندماج البارد (الضبابية الصوتية)<sup>(1)</sup> sonoluminescence، وهي ظاهرة تستخدم الانهيار المفاجئ للفقاعات لإطلاق درجات حرارة هائلة. ويسمى هذا أحيانا (الاندماج الصوتي) sonic fusion، أو (الاندماج الفقاعي) bubble fusion. وقد كانت تلك الظاهرة الغريبة معروفة منذ عقود، إذ تعود إلى عام 1934، عندما كان العلماء في جامعة كولونيا University of Cologne يجرون تجاربهم على الموجات الصوتية الفائقة والتصوير الفوتوغرافي، على أمل زيادة سرعة عملية التطوير. وقد لاحظوا وجود نقاط صغيرة في الفيلم صنعتها ومضات من الضوء تم توليدها عبر الموجات الصوتية التي صنعت فقاعات في السائل. وفيما بعد، لاحظ النازيون أن الفقاعات المنبعثة من مراوح الدفع كثيرا ما تنوهج على نحو يدل على تولد درجات حرارة مرتفعة بطريقة ما داخل الفقاعات.

وبعد ذلك، اتضح أن تلك الفقاعات كانت تسطع متألفة، لأنها تنهار على نحو متساوٍ يضغط معه الهواء الموجود داخلها لتصل حرارته إلى درجات مرتفعة للغاية. وكما رأينا سابقا، فإن الاندماج الساخن يشوبه الضغط غير المتساوي للهيدروجين، إما لأن أشعة الليزر التي تصيب حبيبة الوقود لا تكون موزعة بالتساوي، وإما لأن الغاز لا يتعرض للضغط

(1) الضبابية الصوتية sonoluminescence: ظاهرة انبعاث ومضات ضوئية من فقاعات غازية تنهار وسط سائل تحت تأثير الموجات الصوتية. وهي تثير اهتمام الفيزيائيين، لأن هذا يحدث مع تركيز عالٍ للطاقة لفترة وجيزة من الزمن، ويمكن أن تتحقق من خلالها بداية انصهار نووي حراري. (المترجم)

بالتساوي. ومع انكماش الفقاعة، تكون حركة الجزيئات سريعة للغاية بحيث يصبح ضغط الهواء داخل الفقاعة على جدرانها موحداً. ومن حيث المبدأ، إذا استطعنا جعل الفقاعة تنهار في مثل هذه الظروف المثالية، يمكننا صنع الاندماج.

والحقيقة أن تجارب (الضوئية الصوتية) قد استطاعت توليد حرارة مرتفعة وصلت إلى عشرات الآلاف من الدرجات. وباستخدام الغازات الحاملة، يمكننا زيادة كثافة الضوء المنبعث من تلك الفقاعات. لكن يبقى الجدل مستمرا حول ما إذا كانت هذه التجارب يمكنها أن تولد درجات حرارة عالية بما يكفي لإحداث اندماج نووي. وينبع هذا الجدل من أعمال روسي تالير خان Rusi Taleyarkhan الذي كان يعمل سابقا في معمل أولك ريدج الوطني Oak Ridge National Laboratory، والذي زعم في عام 2002 أنه تمكن من صنع اندماج نووي بجهاز الاندماج الصوتي الخاص به. لقد زعم أنه اكتشف وجود نيوترونات منبعثة من تجربته، وهي علامة مؤكدة على حدوث اندماج نووي. لكن بعد سنوات من العمل والجهد، فشل باحثون آخرون في تكرار تجربته، وتم رفض هذه النتيجة، على الأقل في الوقت الراهن.

غير أن هناك بطاقة رابحة أخرى؛ هي جهاز الاندماج الذي اخترعه فيلو فارنسورث Philo Farnsworth المشارك المغبون حقه في اختراع جهاز التلفزيون. فعندما كان فارنسورث طفلا، راودته في البداية فكرة جهاز التلفزيون عن طريق التفكير في الطريقة التي يحرق بها الفلاح حقوله، صفاء وراء صف. بل إنه وضع مخططا لتفاصيل النموذج الأولي

وهو في الرابعة عشرة من عمره، فكان أول من حول هذه الفكرة لجهاز إلكتروني بالكامل قادر على التقاط الصور المتحركة على الشاشة. لكن، مع الأسف، لم يستطع الاستفادة من اختراعه البارز، وغرق في معارك مطولة ومزعجة للحصول على براءة الاختراع. بل إن معاركة القانونية من أجل براءة الاختراع أدت به إلى الجنون، فسلم نفسه طواعية إلى مصحة للمجانين. وتعرضت جهوده الرائدة في اختراع التلفزيون للتجاهل والإغفال إلى حد كبير.

وفي مرحلة لاحقة من حياته، وجه فارنسورث انتباهه إلى ما يسمى (الدامج) fusor، وهو جهاز صغير يمكنه في الواقع توليد النيوترونات من خلال الاندماج. ويتكون الجهاز من جسمين كرويين كبيرين، أحدهما داخل الآخر، وكلاهما مصنوع من شبكة من الأسلاك. الشبكة الخارجية مشحونة بشحنة موجبة، بينما الداخلية مشحونة بشحنة سالبة، لذا فإن الشبكة الخارجية تنفر البروتونات التي يتم حقنها عبرها في حين تجذبها الشبكة الداخلية. ومن ثم، ترتطم البروتونات بحبيبة غنية بالهيدروجين موضوعة في المنتصف، مما يولد الاندماج ومعه فيض من النيوترونات.

وهذا التصميم في غاية البساطة إلى حد أنه حتى طلبة المدارس استطاعوا فعل ما لم يستطع ريشتر وفليشمان فعله، وهو: توليد النيوترونات بنجاح. غير أنه من غير المحتمل أن ينتج ذلك الجهاز طاقة قابلة للاستخدام؛ فعدد البروتونات التي يتم تسريعها صغير للغاية، وبالتالي فإن الطاقة المتولدة من الجهاز ضئيلة للغاية.

وفي الواقع، من الممكن أيضا إحداث الاندماج البارد باستخدام مُحطَم

ذرات atom smasher أو مُسرّع جسيمات<sup>(1)</sup> particle accelerator قياسي. ومُحطم الذرات هذا أكثر تعقيدا من الدامج، ويمكن استخدامه في تسريع البروتونات ليتمكنها الارتطام بهدف غني بالهيدروجين وإحداث الاندماج. لكن مرة أخرى، يكون عدد البروتونات المندمجة صغيرا للغاية إلى حد يجعله أداة غير عملية. وهكذا، فإن الدامج ومحطم الذرات يمكنهما إحداث الاندماج، لكنهما ببساطة يفتقران للكفاءة إلى حد كبير، وأشعهما أضعف من أن تولد طاقة يمكن استخدامها.

وفي ضوء المخاطر الهائلة، لا شك أن علماء ومهندسين مغامرين آخرين سيجربون حظهم في تحويل أدواتهم الغريبة المخترعة في القبو إلى الاختراع الهائل التالي في تاريخ البشرية.

(1) مُسرّع، أو معجل، الجسيمات particle accelerator: جهاز يستخدم المجالات الكهربائية لتعجيل جسيمات الشحنات الكهربائية إلى سرعات عالية. وتستخدم أجهزة التلفزيون المبنية على أنبوب الأشعة المهبطية معجل سرعة بسيط. ويشار إلى المعجلات المستخدمة كمصادمات للجسيمات محطّمتات الذرة (atom smashers). (المترجم)

## المستقبل البعيد (من 2070 إلى 2100)

### عصر المغناطيسية

كان القرن الماضي يوصف بأنه عصر الكهرباء. فلما كان من السهل جدا التعامل مع الإلكترونيات، أدى هذا لإتاحة تقنيات جديدة كلياً، وجعل أشياء مثل الراديو، والتلفزيون، وأجهزة الكمبيوتر، وأشعة الليزر، والتصوير بالرنين المغناطيسي، وغيرها من الأشياء، ممكنة. وفي وقت ما من هذا القرن الجديد، من المرجح أن الفيزيائيين سيجدون كأسهم المقدسة التي طال البحث عنها: الموصلات الفائقة *superconductors* في درجة حرارة الغرفة. وسوف يؤذن هذا ببداية عصر جديد كلياً، هو عصر المغناطيسية.

تخيل أنك تركب سيارة مغناطيسية تحلق فوق الأرض، وتسير بسرعة عدة مئات من الأميال في الساعة، ولا تكاد تستهلك أي نوع من الوقود. تخيل القطارات، بل تخيل الناس أنفسهم ينتقلون في الهواء ويسبحون على المغناطيسية.

إننا ننسى أن معظم البنزين الذي نستخدمه في سياراتنا يستهلك في التغلب على الاحتكاك. فمن حيث المبدأ، لا يكاد الأمر يتطلب أي طاقة للانتقال من سان فرانسيسكو في غرب أمريكا إلى نيويورك في الشرق. والسبب الوحيد الذي يجعل هذه الرحلة تستهلك بنزيناً تكلفته مئات الدولارات هو ضرورة التغلب على احتكاك عجلات السيارة بالطريق

واحتكاك الهواء. لكن إذا أمكن بطريقة ما تغطية الطريق من سان فرانسيسكو إلى نيويورك بطبقة من الجليد، يصبح بالإمكان قطع معظم الطريق ببساطة بلا تكلفة تقريبا. وبالمثل، يمكن لمسبار فضاء أن يحلق إلى ما بعد كوكب بلوتو ببضعة لترات من الوقود فقط، لأنه ينتقل عبر فراغ الفضاء. وبالطريقة ذاتها، سوف تطفو السيارة المغناطيسية فوق سطح الأرض، ولن تحتاج ببساطة سوى أن تنفخ فيها لتبدأ في الحركة.

وأساس هذه التقنية الموصلات الفائقة<sup>(1)</sup> superconductors. وقد عرفنا، منذ عام 1911، أن الزئبق عند تبريده إلى أربع درجات (كلفينية) فوق الصفر المطلق يفقد كل مقاومته الكهربائية. ويعني هذا أن أسلاك التوصيل الفائقة لا تفقد أي قدر من الطاقة على الإطلاق، لأنها لا تحتوي على أي مقاومة (هذا لأن الإلكترونات التي تتحرك عبر الأسلاك تفقد جزءا من طاقتها مع اصطدامها بالذرات. لكن عند حرارة تقترب من الصفر المطلق، تكاد تلك الذرات تسكن تماما، وبذلك تستطيع الإلكترونات الانسلاخ عبرها بسهولة دون فقد للطاقة).

(1) الموصلات الفائقة superconductors: التوصيل الفائقة ظاهرة تحدث في بعض المواد عند تبريدها إلى درجات حرارة منخفضة جداً تقترب من الصفر المطلق (صفر كلفن)، حيث تسمح الموصلات الفائقة بمرور الكهرباء خلالها دون أي مقاومة كهربائية تقريباً. وعادة، تنخفض المقاومة الكهربائية للموصلات المعدنية تدريجياً مع انخفاض درجة الحرارة، وفي حالة الموصلات العادية، كالنحاس أو الفضة، فإن الشوائب الموجودة فيها تعاكس الوصول إلى حد أدنى من المقاومة في درجات الحرارة المنخفضة. ولذلك فعند الاقتراب إلى درجة حرارة تقارب درجة الصفر المطلق، فإن عينة من النحاس مثلاً لا يمكن أن تصل لدرجة مانعة (مقاومة) تساوي الصفر. أما في حالة الموصلات الفائقة، فإن الممانعة تنخفض على نحو مفاجئ إلى الصفر، عندما يتم تبريد المادة إلى درجة حرارة أقل من الدرجة الحرجة لهذه المادة. ومن ثم، ففي حالة التوصيل المطلق يمكن لتيار كهربائي يمر في حلقة من مادة فائقة التوصيل أن يستمر في السريان إلى وقت غير محدود، دون وجود مصدر للطاقة، بعد إعطاء الدفعة الأولى. وتحدث حالة التوصيل الفائقة في تشكيلة واسعة من المواد، كالقصدير والألومنيوم والسيراميك، وبعض أشباه الموصلات. بيد أنه لا يمكن صنع موصلات فائقة من المعادن النبيلة، كالذهب والفضة. (المترجم)

وتلك الموصلات الفائقة ذات خصائص غريبة ورائعة في الوقت نفسه، لكن أحد عيوبها الخطيرة ضرورة تبريدها إلى ما يقرب من الصفر المطلق باستخدام الهيدروجين السائل، وهو باهظ الثمن.

لذا، شعر علماء الفيزياء بالصدمة عام 1986 عندما تم الإعلان عن اكتشاف نوع جديد من الموصلات الفائقة لا يحتاج للتبريد إلى درجات الحرارة شديدة الانخفاض تلك. فعلى عكس المواد السابقة، كالزئبق أو الرصاص، بدت تلك الموصلات الجديدة (وهي السيراميك الذي كان يُعتقد فيما سبق أنه غير مرشح ليكون موصلاً فائقاً) فائقة التوصيل للكهرباء في درجة حرارة 92 درجة (كلفنية) فوق الصفر المطلق. لقد أصبح السيراميك -على نحو مخرج - موصلاً فائقاً للكهرباء عند درجة حرارة كان يُعتقد نظرياً أنها مستحيلة.

وحتى الآن، وصل الرقم القياسي العالمي لهذه الموصلات الفائقة الجديدة المصنوعة من السيراميك إلى 138 درجة (كلفنية) فوق الصفر المطلق (أو -211 درجة فهرنهايت). ويعد هذا الأمر مهماً، لأن النيتروجين السائل (ضئيل التكلفة) يتشكل عند درجة 77 درجة كلفنية (-321 درجة فهرنهايت)، وبالتالي يمكن استخدامه في تبريد الموصلات الفائقة المصنوعة من السيراميك. وتلك الحقيقة وحدها خفضت بشدة تكاليف الموصلات الفائقة. وهكذا، أصبح لتلك الموصلات الفائقة الجديدة تطبيقات عملية مباشرة.

غير أن الموصلات الفائقة المصنوعة من السيراميك بالكاد أثارت شهية علماء الفيزياء. إنها خطوة كبيرة في الاتجاه الصحيح، لكنها تظل غير

كافية. فأولاً، على الرغم من أن النيتروجين السائل رخيص نسبياً، ما زال من الضروري امتلاك بعض معدات التبريد لتبريد النيتروجين. ثانياً، من الصعب صنع أسلاك من السيراميك. ثالثاً، ما زال الفيزيائيون حائرين في طبيعة مادة السيراميك تلك. فبعد عقود عديدة على اكتشافها، ما زال الفيزيائيون غير واثقين تماماً من طريقة عملها. ويبدو أن نظرية الكم لمادة السيراميك أكثر تعقيداً من أن يتم حلها في الوقت الراهن، لذا لا يكاد أحد يعرف سر قابليتها لأن تصبح موصلات فائقة. وفي ظل عدم وجود أدنى فكرة لدى علماء الفيزياء عن هذا، لا بد أن هناك جائزة نوبل تنتظر الشخص المغامر الذي يمكنه تفسير تلك الموصلات الفائقة التي تعمل في درجات حرارة مرتفعة نسبياً.

غير أن كل عالم فيزياء يعلم الأثر الهائل الذي سيحدثه موصل فائق يعمل في درجة حرارة الغرفة. إن هذا يمكن أن يؤدي لبداية ثورة صناعية جديدة. فالموصلات الفائقة التي تعمل في درجة حرارة الغرفة لن تحتاج لأي معدات تبريد، ومن ثم فإنها تستطيع إيجاد مجالات مغناطيسية دائمة ذات طاقة رهيبية.

وعلى سبيل المثال، إذا كانت الكهرباء تتدفق داخل دائرة من النحاس، فإن طاقتها تتشتت خلال جزء من الثانية بسبب مقاومة السلك. إلا أن التجارب أثبتت أن الكهرباء داخل دائرة كهربية مصنوعة من مادة للتوصيل الفائق يمكن أن تظل ثابتة لسنوات. بل إن الأدلة التجريبية تشير إلى فترة ممتدة إلى 100000 سنة، وتؤكد بعض النظريات أن الحد الأقصى لمثل هذا التيار الكهربائي الساري في موصل فائق قد تصل إلى عمر الكون نفسه.



وعلى أقل تقدير، فإن مثل هذه الموصلات الفائقة يمكنها تقليل التبديد الذي نجده في الكابلات الكهربائية عالية الفولتية، وبالتالي تقليل تكلفة الكهرباء. ومن المعلوم أن أحد الأسباب التي تحتم وجود محطات توليد الكهرباء على مقربة كبيرة من المدن، الخسائر التي تحدث في خطوط نقل الكهرباء. وهذا السبب نفسه الذي يجعل محطات الطاقة النووية قريبة جدا من المدن، بكل ما ينطوي عليه ذلك من مخاطر صحية كبيرة. كما أنه السبب ذاته الذي يعوق وضع المحطات التي تعمل بطاقة الرياح في المناطق التي توجد بها أعتى الرياح.

تجدر الإشارة إلى أن نسبة الكهرباء المهدرة أثناء النقل يمكن أن تصل إلى 30 في المائة من الكهرباء المولدة بواسطة محطة كهربائية. وبالطبع، يمكن للأسلاك فائقة التوصيل التي تعمل في درجة حرارة الغرفة العادية أن تغير كل هذا، مما سيوفر قدرا هائلا من تكاليف الكهرباء، ويقلل التلوث إلى حد كبير. فضلا عن أنه يمكن أن يكون له أثر عميق أيضا على ظاهرة الاحتباس الحراري. فلما كان إنتاج العالم من غاز ثاني أكسيد الكربون مرتبطا بشدة باستهلاك الطاقة، ولما كان القدر الأعظم من تلك الطاقة يضيع في التغلب على الاحتكاك، فإن عصر المغناطيسية يمكن أن يقلل استهلاك الطاقة وإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون على نحو دائم.

## السيارة المغناطيسية والقطار المغناطيسي

من دون أي مدخلات إضافية من الطاقة، يمكن للموصلات الفائقة التي تعمل في درجة حرارة الغرفة إنتاج مغناطيسيات عملاقة قادرة على رفع

القطارات والسيارات لتحلق فوق سطح الأرض. ويمكن إجراء توضيح بسيط لهذه الطاقة في أي معمل. وقد قمت بهذا بنفسى مرات عديدة في قناة (بي بي سي - تي في) BBC-TV و(قناة العلوم) Science Channel. فمن الممكن أن تطلب قطعة صغيرة من مادة السيراميك فائقة التوصيل من شركة توريدات علمية؛ وستكون قطعة رمادية صلبة من السيراميك حجمها بوصة واحدة. ثم يمكنك شراء بعض النيتروجين السائل من إحدى شركات منتجات الألبان. والآن، ضع قطعة السيراميك في طبق بلاستيكي، ثم صب النيتروجين السائل برفق فوقها، ولاحظ أن النيتروجين سيبدأ في الغليان بشدة عندما يقع على قطعة السيراميك. وهنا، عليك أن تنتظر إلى أن يتوقف النيتروجين عن الغليان، ثم قم بوضع مغناطيسا صغيرا فوق قطعة السيراميك. على نحو سحري، سيطفو المغناطيس في الهواء. وإذا نقرت المغناطيس بطرف إصبعك، فسيبدأ في الدوران من تلقاء نفسه. وفي ذلك الطبق الصغير، ربما كنت تنظر لمستقبل الانتقال حول العالم.

إن السبب وراء طفو المغناطيس في الهواء بسيط، فخطوط القوة المغناطيسية لا يمكنها اختراق موصل فائق، وتلك هي (ظاهرة ميسنر)<sup>(1)</sup> Meissner effect (عندما يتم تسليط مجال مغناطيسي على موصل فائق، يتكون تيار كهربائي صغير على السطح يلغي أثر المجال، وهكذا يُطرد المجال المغناطيسي بعيدا عن الموصل الفائق). لذا فإنه عندما تضع

(1) ظاهرة ميسنر Meissner effect: ظاهرة طرد جسم ذي موصلية فائقة من قبل مجال مغناطيسي. (المترجم)

المغناطيس فوق قطعة السيراميك، تنحني خطوط المجال مبتعدة، لأنها لا تستطيع المرور عبر السيراميك. ويؤدي هذا الصنع (وسادة) من خطوط المجال المغناطيسي، المضغوطة جميعاً معاً، تدفع المغناطيس بعيداً عن قطعة السيراميك، متسببة في جعله يطفو.

وقد تؤدى بنا الموصلات الفائقة في درجة حرارة الغرفة إلى عصر المغناطيسات العملاقة. وكما رأينا، فقد ثبت أن أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي magnetic resonance imaging (واختصاراً MRI) مفيدة للغاية، لكنها تتطلب مجالات مغناطيسية كبيرة. وسوف تتيح الموصلات الفائقة في درجة حرارة الغرفة للعلماء صنع مجالات مغناطيسية عملاقة بثمان زهيد. وهو ما سيؤدي إلى تصغير حجم أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي في المستقبل. وقد أصبح من الممكن بالفعل - باستخدام مجالات مغناطيسية مختلفة الحجم - صنع أجهزة تصوير بالرنين المغناطيسي طولها حوالي قدم واحد. وبواسطة الموصلات الفائقة في درجة حرارة الغرفة، قد يصبح ممكناً تصغير حجمها لتصبح بحجم أزرار صغيرة.

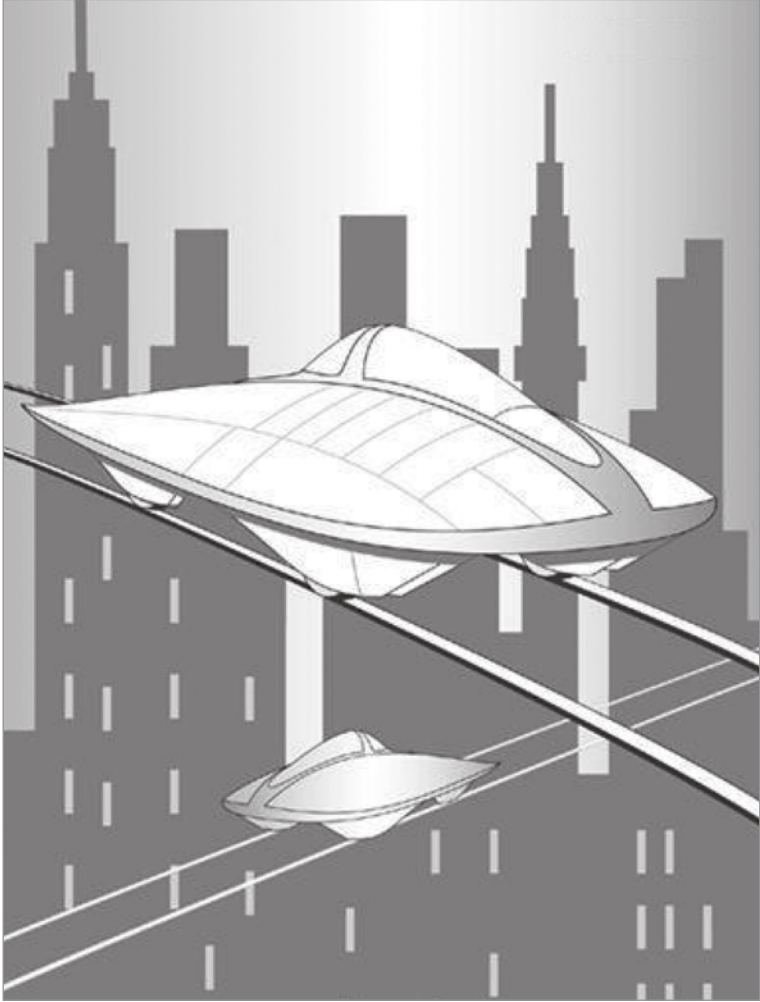
ولعلنا نذكر ظهور مايكل جيه. فوكس، في الجزء الثالث من سلسلة (العودة إلى المستقبل)، في أحد المشاهد وهو يركب لوح تزلج يطفو في الهواء. لتتدفق على المتاجر، بعد عرض الفيلم لأول مرة، طلبات من الأطفال لشراء اللوح الطائر. لكن تلك الألواح الطائرة بكل أسف لا وجود لها حتى الآن، غير أنها قد تصبح متوفرة بفضل الموصلات الفائقة في درجة حرارة الغرفة.

## القطارات والسيارات المغناطيسية المعلقة

أحد التطبيقات البسيطة للموصلات الفائقة في درجة حرارة الغرفة هو تحديث مجال النقل، بتطوير سيارات وقطارات معلقة فوق سطح الأرض تتحرك من دون مقاومة أو احتكاك.

تخيل نفسك تركب سيارة تستخدم الموصلات الفائقة في درجة حرارة الغرفة؛ ستكون الطرق مصنوعة من الموصلات الفائقة بدلا من الأسفلت. والسيارة نفسها إما ستحتوي على مغناطيس دائم وإما ستولد مجالا مغناطيسيا من خلال موصل فائق خاص بها. سوف تحلق السيارة في الهواء، وحتى الهواء المضغوط سيكون كافيا لجعلها تتحرك. وبمجرد أن تتحرك، يمكنها أن تستمر في التحليق إلى الأبد تقريبا إذا ظل الطريق ممتدا أمامها. وستكون هناك حاجة فقط لمحرك كهربائي أو دفعة من الهواء المضغوط للتغلب على مقاومة الهواء التي ستكون العائق الوحيد الذي تواجهه تلك السيارة.

جدير بالذكر أنه حتى من دون الموصلات الفائقة التي تعمل في درجة حرارة الغرفة، أنتجت العديد من الدول قطارات مغناطيسية معلقة تحلق فوق مجموعة من خطوط السكك الحديدية التي تحتوي على مغناطيسات. فلما كانت الأقطاب الشمالية للمغناطيسات تتنافر مع نظائرها من الأقطاب الشمالية، فقد تم ترتيب المغناطيسات بحيث يحتوي قاع القطار على مغناطيسات تسمح لها بالطفو فوق قضبان السكة الحديدية مباشرة.



قد توفر لنا الموصلات الفائقة في درجة حرارة الغرفة في يوم من الأيام سيارات وقطارات طائرة، وقد تطفو تلك السيارات والقطارات فوق سكك حديدية مغناطيسية أو أرض مرصوفة بالموصلات الفائقة، من دون احتكاك.

وتعد ألمانيا واليابان والصين الدول الرائدة في هذه التقنية. وقد حققت القطارات المغناطيسية المعلقة بعض الأرقام القياسية العالمية. وكان أول قطار مغناطيسي معلق يعمل على نطاق تجاري هو القطار المكوكي منخفض السرعة الذي كان يعمل بين مطار بيرمينجهام الدولي ومحطة بيرمينجهام الدولية للسكك الحديدية عام 1984. وكانت أعلى سرعة مسجلة لقطار مغناطيسي معلق هي 361 ميلا في الساعة، وقد سُجلت في اليابان بواسطة القطار (إم إل إكس 01) MLX01 عام 2003. (يمكن للطائرات النفاثة أن تطير بسرعات أكبر جزئياً، لأن مقاومة الهواء في الارتفاعات الكبيرة تكون أقل. ولما كانت القطارات المغناطيسية المعلقة تطير في الهواء، فإن معظم الطاقة التي تفقدها تكون بسبب الاحتكاك بهذا الهواء. غير أنه إذا كان القطار المعلق يعمل في غرفة مفرغة من الهواء، فإنه يستطيع السفر بسرعة تصل إلى 4000 ميل في الساعة). ومع الأسف، فإن التكلفة الاقتصادية العالية للقطارات المغناطيسية المعلقة قد منعتها من الانتشار في جميع أنحاء العالم. لكن يمكن للموصلات الفائقة في درجة حرارة الغرفة أن تغير كل هذا، ويمكن أن تؤدي كذلك إلى إعادة إحياء منظومة السكك الحديدية في الولايات المتحدة على نحو يقلل من انبعاث غازات الدفيئة. فهناك تقديرات تقول إن نسبة 2 في المائة من غازات الدفيئة تنبعث من المحركات النفاثة، وهكذا فإن القطارات المغناطيسية ستقلل انبعاث تلك الغازات بالنسبة ذاتها.

## طاقة من السماء

بحلول نهاية القرن، سوف ينفتح أمامنا احتمال آخر لإنتاج الطاقة،

وهو: الطاقة المستمدة من الفضاء التي تسمى (الطاقة الشمسية الفضائية)<sup>(1)</sup> space solar power (وتعرف اختصاراً بـ SSP). وتعتمد هذه الطاقة على إرسال مئات الأقمار الصناعية الفضائية إلى مدارات فضائية حول الأرض، بحيث تقوم بتجميع أشعة الشمس، ثم ترسل تلك الطاقة المجمعة إلى الأرض في صورة موجات متناهية الصغر. وسوف توضع تلك الأقمار على بعد 22000 ميل من الأرض في مدارات موازية لخط الاستواء، على أن تدور في هذه المدارات بسرعة مساوية لسرعة دوران الأرض. ولما كان ضوء الشمس الموجود في الفضاء يفوق الضوء الذي يصل إلى الأرض بثمانية أضعاف، فلا غرابة في أن يعد هذا الاحتمال واعداء مبشراً.

وفي الوقت الراهن، تعد التكلفة الحجر العثرة الرئيسة أمام الاستفادة من الطاقة الشمسية الفضائية، وتحديدًا تكلفة إطلاق تلك الأقمار الفضائية التي ستجمع طاقة الشمس. فليس هناك شيء في قوانين الفيزياء يمنع تجميع الطاقة مباشرة من الشمس، لكن المشكلة هندسية اقتصادية بامتياز. بيد أنه مع حلول نهاية القرن، قد تؤدي وسائل جديدة لتقليل تكلفة السفر في الفضاء إلى جعل تلك الأقمار الفضائية في متناول أيدينا، كما سنوضح في الفصل السادس.

هذا وكان أول اقتراح جدي لتجميع الطاقة الشمسية الفضائية قد تم تقديمه عام 1968، عندما اقترح بيتر جلاسر Peter Glaser، رئيس الجمعية

(1) الطاقة الشمسية الفضائية space solar power: تحويل الطاقة الشمسية المكتسبة في الفضاء إلى أي نوع آخر من الطاقة (الكهربائية أساساً)، بوضع أقمار صناعية ضخمة في مدارات في الفضاء، تكون عبارة عن أجسام عملاقة قابلة للتمدد، وتتكون من ألواح وهوائيات قادرة على تجميع أشعة الشمس لتحويلها إلى طاقة كهربائية. (المترجم)

الدولية للطاقة الشمسية International Solar Energy Society، إرسال أقمار صناعية بحجم مدينة حديثة إلى الفضاء لتبث الطاقة إلى الأرض. وفي عام 1979، درس علماء وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) اقتراحه بإمعان، وقدروا أن تكلفة مشروع كهذا ستصل إلى عدة مليارات من الدولارات، وهو الأمر الذي وأد الفكرة في مهدها.

لكن (ناسا)، بسبب التحسينات المستمرة في تقنيات الفضاء، استمرت في تمويل دراسات مصغرة حول الطاقة الشمسية الفضائية منذ عام 1995 حتى عام 2003. ويؤكد مؤيدو الطاقة الشمسية الفضائية أنها مسألة وقت فحسب قبل أن تصبح واقعا ملموسا بفضل تطور التكنولوجيا والاقتصاديات. يقول مارتن هوفرت Martin Hoffert، الذي كان فيما سبق أحد علماء الفيزياء في جامعة نيويورك New York University: (توفر الطاقة الشمسية مصدرا مستمرا بحق للكهرباء على نطاق عالمي، ومن دون انبعاثات ضارة).

وبصفة عامة، هناك مشكلات هائلة تواجه مثل هذا المشروع الطموح، وهي مشكلات واقعية حينا وتخيلية حينا آخر. فبعض الناس يخشون هذا المشروع، لأن الطاقة المرسلة إلينا من الفضاء قد تصيب عن غير قصد منطقة مأهولة بالسكان، متسببة بذلك في سقوط أعداد هائلة من الضحايا. غير أن هذا الخوف مبالغ فيه. فلو قمنا بحساب الإشعاع الفعلي الذي يضرب الأرض من الفضاء لوجدنا أنه أقل من أن يسبب أي مخاطر على صحة البشر. ومن ثم، فإن تصور قمر صناعي فضائي شرير يرسل أشعة الموت إلى الأرض ليشوي مدنا بكاملها هو تصور يليق بأحد كوابيس أفلام هوليود



أكثر مما يتصل بالواقع.

وقد حسب كاتب الخيال العلمي بن بوبا Ben Bova، من خلال مقال له في صحيفة واشنطن بوست Washington Post عام 2009، الحسابات الاقتصادية لصنع قمر فضائي للطاقة الشمسية. وقدّر أن كل قمر سيولد ما يراوح بين 5 إلى 10 جيجاوات من الطاقة، وهو قدر أكبر بكثير من أي محطة تقليدية لحرق الفحم، بتكلفة ثمانية إلى عشرة سنتات لكل كيلووات في الساعة، مما يجعله قادرا على المنافسة. وسيكون كل قمر عملاقا - بعرض ميل تقريبا - وستكلف مليار دولار، وهي تقريبا نفس تكلفة تشييد محطة طاقة نووية.

ولبدء استخدام هذه التقنية، طلب من الإدارة الحالية إنشاء مشروع توضيحي، بإطلاق قمر صناعي يمكنه توليد 10 إلى 100 ميجاوات. ومن المفترض أن يصبح إطلاق القمر ممكنا مع نهاية الفترة الثانية من رئاسة الرئيس أوباما، إذا بدأ التخطيط الآن.

وهناك مبادرة كبرى أعلنتها الحكومة اليابانية تحاكي تلك التصريحات. ففي عام 2009، أعلن وزير التجارة الياباني خطة لدراسة جدوى منظومة أقمار طاقة فضائية. وسوف تنضم شركة ميتسوبيشي إلكتروك Mitsubishi Electric وشركات يابانية أخرى لبرنامج بقيمة 10 مليارات دولار لإطلاق محطة طاقة شمسية في الفضاء من شأنها أن تولد مليار واثم من الطاقة. وسوف تكون المحطة ضخمة، إذ ستكون مساحتها نحو 1.5 ميل مربع، ومغطاة بالخلايا الشمسية.

يقول كينسوكي كانيكيو Kensuke Kanekiyo من معهد اقتصادات

الطاقة Institute of Energy Economics، وهو مؤسسة بحثية حكومية: (يبدو هذا وكأنه فيلم خيال علمي كرتوني، لكن توليد الطاقة الشمسية في الفضاء قد يكون مصدر طاقة بديل مهم في القرن القادم مع اختفاء الوقود الأحفوري).

وفي ضوء الحجم الهائل لهذا المشروع الطموح، تتلمس الحكومة اليابانية خطواتها بحذر. ففي البداية، سوف تقضي مجموعة بحثية السنوات الأربع التالية في دراسة الجدوى العلمية والاقتصادية للمشروع. وإذا أعطت تلك المجموعة الضوء الأخضر، ستقوم وزارة التجارة اليابانية (وكالة استكشاف الفضاء) Aerospace Exploration Agency اليابانية بتنفيذ مخطط لإطلاق قمر صغير عام 2015 لاختبار عملية إرسال الطاقة إلى الأرض من الفضاء الخارجي.

ولن تكون المشكلة الكبرى على الأرجح علمية، وإنما اقتصادية. لقد حذر هيروشي يوشيدا Hiroshi Yoshida من شركة (إكسكالير كيه كيه) Excalibur KK، وهي شركة استشارات فضائية مقرها طوكيو، قائلاً: (لابد من تخفيض تلك النفقات إلى واحد من مئة من التقديرات الحالية). ومن المشكلات المؤرقة كذلك أن هذه الأقمار على بعد 22000 ميل في الفضاء الخارجي، وهي مسافة أبعد كثيراً من الأقمار الصناعية التي تدور في مدارات قريبة من الأرض على بعد 300 ميل فقط، لذا فإن مقدار الطاقة المهدرة في عملية النقل قد يكون ضخماً.

بيد أن المشكلة الرئيسة تكمن في تكلفة الصواريخ الدافعة، وذلك هو عنق الزجاجة نفسه الذي أحبط خطط العودة إلى القمر واستكشاف

المريخ.

وما لم تقلص تكاليف إطلاق الصواريخ على نحو كبير، فسوف تؤول الحال بتلك الخطط إلى موت هادئ.

وعلى نحو متفائل، يمكن القول إن الخطة اليابانية يمكن أن تبدأ العمل بنجاح بحلول منتصف القرن. لكن، في ضوء مشكلات الصواريخ الدافعة، فإن الأرجح أن الخطة ستتأخر حتى نهاية القرن، عندما تؤدي أجيال جديدة من الصواريخ إلى تقليل التكلفة. وإذا كانت المشكلة الرئيسية التي تواجه الأقمار الشمسية هي التكلفة، يصبح السؤال المهم هو: هل يمكننا تقليل تكلفة السفر إلى الفضاء بحيث يمكننا ذات يوم أن نصل إلى النجوم؟

## الفصل السادس



## مستقبل رحلات الفضاء إلى النجوم

«لقد جلسنا طويلاً على شواطئ المحيط الكوني. وها قد أصبحنا أخيراً

مستعدين للإبحار نحو النجوم»

- كارل ساجان<sup>(1)</sup>

كانت آلهة الأساطير تجوب الساحات السماوية لـ (جبل أوليمبوس) Mount Olympus على متن عربات حربية قوية. وكانت آلهة الإسكندنافية تبهر عبر البحار الكونية إلى موطن الآلهة في (أسجارد) Asgard على متن سفن قوية للفايكنج.

وبالمثل، بحلول عام 2100، ستكون الإنسانية على عتبة عصر جديد في استكشاف الفضاء: عصر الوصول إلى النجوم. ستصبح نجوم الليل - التي تبدو قريبة جذابة غير أنها أبعد ما تكون - بؤرة تركيز علماء الصواريخ بحلول نهاية القرن.

يبدو أن الطريق إلى بناء سفن فضائية سوف يكون وعراً مليئاً بالصعاب. إن البشرية تشبه شخصاً تمتد ذراعه الميسوطتان نحو النجوم، لكن قدميه تغوصان في الوحل. فمن ناحية، سوف يشهد هذا القرن عصراً جديداً لاستكشاف الفضاء آلياً عندما نرسل الأقمار الصناعية لتحديد الكواكب

(1) كارل ساجان Carl Sagan: فلكي أمريكي من أبرز المساهمين في تبسيط علوم الفلك والفيزياء الفلكية وغيرها من العلوم الطبيعية. وكان له دور رائد في تعزيز البحث عن المخلوقات الذكية خارج الكرة الأرضية. (المترجم)

الشبيهة بالأرض في الفضاء، ونستكشف أقمار المشتري، بل حتى عندما نلتقط صوراً مصغرة للانفجار العظيم نفسه. غير أن الاستكشاف البشري للفضاء الخارجي - الذي فتن عدة أجيال من الحالمين وأصحاب التخييلات - سيكون مصدراً لبعض الإحباط.

# المستقبل القريب

## (من الوقت الحاضر حتى عام 2030)

### كواكب خارج المجموعة الشمسية

كان أحد الإنجازات الأكثر إبهارا لبرنامج الفضاء هو الاستكشاف الآلي للفضاء الخارجي الذي وسع آفاق الإنسانية على نحو كبير.

وسوف يأتي في المقام الأول بين المهام الآلية البحث عن كواكب شبيهة بكوكب الأرض في الفضاء. يمكنها أن تؤوي البشر، وتلك هي الكأس المقدسة لعلم الفضاء. وحتى هذه اللحظة، اكتشفت التلسكوبات الموجودة على الأرض نحو 500 كوكب تسبح في أفلاك حول منظومات نجمية بعيدة، ويتم اكتشاف كواكب جديدة بمعدل كوكب واحد كل أسبوع أو أسبوعين. غير أن مصدر الإحباط الكبير هو أن أجهزتنا ومعداتنا لا يمكنها اكتشاف كواكب سوى تلك التي يساوي حجمها حجم المشتري في منظومتنا الشمسية والتي لا يمكنها استيعاب الحياة التي نعرفها.

وللعثور على الكواكب، يبحث علماء الفلك عن رعشات دقيقة للغاية في مسار النجوم. ويمكن تشبيه تلك المنظومات الشمسية الفضائية بدُمبل Dumbbell مكون من كرتين دوارتين مرتبطتين بقضيب من الحديد، إذ تدور إحداهما حول الأخرى؛ وتمثل إحداهما النجم، الذي يكون مرئياً بوضوح بواسطة التلسكوب، وتمثل الأخرى كوكبا بحجم المشتري، ويكون أكثر إعتاما بنحو مليار مرة. ومع دوران النجم والكوكب المماثل



للمشتري في الحجم حول مركز الدمبل، يمكن للتلسكوبات بوضوح رصد ارتعاش ضوء النجم. ولقد أفلحت تلك الطريقة في تحديد مواقع مئات كرات الغاز العملاقة في الفضاء، ولكنها أكثر بدائية من أن تكتشف وجود كواكب ضئيلة شبيهة بالأرض.

وقد تم رصد أصغر كوكب أمكن اكتشافه بواسطة التلسكوبات الأرضية عام 2010، وهو كوكب يتراوح حجمه بين 3 و4 أضعاف حجم الأرض. واللافت للنظر أن هذه (الأرض العملاقة) هي أول كوكب يقع في المنطقة القابلة لنشأة الحياة بالنسبة لشمسه؛ أي على البعد المناسب من تلك الشمس الذي يتيح وجود ماء سائل على سطحه.

لكن هذا الوضع تغير كله مع إطلاق تلسكوب مهمة كيبلر<sup>(1)</sup> Kepler Mission عام 2009 والقمر الصناعي كوروت COROT عام 2006. ويبحث مسبارا الفضاء هذان عن تذبذبات ضئيلة في أضواء النجوم تحدث عندما يعبر كوكب صغير أمام النجم الذي يدور حوله، حاجبا ضوءه بقدر ضئيل للغاية. وعن طريق مسح الآلاف من النجوم بعناية بحثا عن تلك التذبذبات الصغيرة، ربما استطاع مسبارا الفضاء اكتشاف مئات الكواكب الشبيهة بالأرض. وبمجرد اكتشاف تلك الكواكب، يمكن تحليلها بسرعة لمعرفة ما إذا كانت تحتوي على الماء الجاري الذي ربما كان السلعة الأكثر

(1) مهمة كيبلر Kepler Mission: مهمة فضائية لوكالة الفضاء الأمريكية (ناسا)، إذ تم إرسال مسبار إلى الفضاء لاستكشاف ما إذا كانت هناك حياة في مجرة درب التبانة. وقد سُمّي المسبار كيبلر على اسم العالم الفلكي يوهانز كيبلر، وهو عبارة عن تلسكوب فضائي سوف يصل إلى مدار حول الشمس لمراقبة ورصد مساحات من الكون يُعتقد أنها تحتوي على ما يقرب من 100 ألف نجم شبيه بالشمس. (المترجم)

قيمة في الكون كله. فالماء السائل هو المذيب الكوني والبوتقة التي صنع فيها أول حمض نووي. وإذا اكتشف وجود محيطات من المياه على سطح تلك الكواكب، فيمكن أن يغير هذا من فهمنا للحياة في الكون كله.

يقول الصحفيون في بحثهم عن فضيحة: (اتبع المال)، ولكن الفلكيون في بحثهم عن الحياة في الفضاء يقولون: (اتبع الماء).

وسوف يتم استبدال أقمار أكثر حساسية بقمر كيبلر، ومنها القمر المسمى (الباحث الأرضي عن الكواكب) Terrestrial Planet Finder. وعلى الرغم من أن موعد إطلاق هذا المسبار قد تأجل مرات عديدة، فإنه يظل المرشح الأفضل لتطوير وتوسيع أهداف تلسكوب كيبلر.

وسوف يستخدم (الباحث الأرضي عن الكواكب) عدسات أفضل كثيراً بهدف العثور على الكواكب الشبيهة بالأرض في الفضاء. فأولاً، سيحتوي المسبار على مرآة أكبر بأربع مرات وأكثر حساسية بمئة مرة من مرآة (تلسكوب الفضاء هابل) Hubble Space Telescope. وثانياً، سيحتوي على مجسات تعمل بالأشعة تحت الحمراء ويمكنها إضعاف الإشعاع الكثيف المنبعث من النجوم مليون مرة، وبذلك تكشف عن وجود أي كوكب معتم ربما كان يدور في فلكها (وهي تفعل ذلك عن طريق أخذ موجتين من أشعة النجم، ثم دمجهما معا بعناية بحيث تبطل إحداهما الأخرى، على نحو يستبعد الوجود غير المرغوب فيه للنجم).

لذا ستكون لدينا في المستقبل القريب موسوعة تضم عدة آلاف من الكواكب، وستكون بضعة مئات منها مشابهة للغاية لكوكب الأرض في الحجم والتكوين. وهذا بدوره سيحدث مزيداً من الاهتمام بإرسال

مسبار، يوماً ما، إلى تلك الكواكب البعيدة. وسوف تكون هناك جهود مكثفة لمعرفة ما إذا كانت الكواكب الشبيهة بالأرض تحتوي على محيطات من المياه، وما إذا كانت هناك أي انبعاثات لاسلكية صادرة عن مخلوقات عاقلة.

## قمر يوروبا: خارج نطاق جولديلوكس

هناك أيضاً هدف مغرٍ آخر لاستكشافاتنا داخل نظامنا الشمسي نفسه، ألا وهو: قمر يوروبا<sup>(1)</sup>. فعلى مدار عقود، كان يُعتقد أن الحياة في النظام الشمسي لا يمكن أن تتواجد إلا في نطاق (جولديلوكس)<sup>(2)</sup> Goldilocks zone حول الشمس، حيث لا تكون الكواكب ساخنة أو باردة أكثر مما ينبغي لدعم الحياة على سطحها. وينعم كوكب الأرض بوجود الماء السائل على سطحه لأنه يدور على بعد مناسب من الشمس. فالماء السائل سيغلي على كوكب مثل عطارد - لقربه من الشمس أكثر مما ينبغي - وسوف يتجمد على كوكب مثل المشتري، لأنه بعيد جداً عن الشمس. ولما كان الماء السائل هو على الأرجح السائل الذي تكونت فيه الأحماض النووية والبروتينات منذ البداية، فقد ساد الاعتقاد لوقت طويل أن الحياة في المجموعة الشمسية لا يمكن أن تتواجد إلا على سطح

(1) قمر أوروبا Europa: سادس أقرب قمر للمشتري، ورابع أقماره من حيث الحجم. وقد اكتشف في 7 يناير 1610 على يد جاليليو جاليلي. ويمتاز هذا القمر بنواة حديدية صلبة، وهناك الكثير من الفرضيات التي تشير إلى وجود محيط بعمق 100 كلم من المياه المالحة القابعة تحت قشرة من الجليد القاسي نتيجة برودة سطح هذا القمر. (المترجم)

(2) نطاق جولديلوكس Goldilocks zone: النطاق المناسب الذي يمكن أن تتواجد داخله كواكب تدعم وجود الحياة على سطحها؛ حيث لا تكون قريبة جداً من شمسها ولا بعيدة جداً عنها، ويمكن العثور فيها على الماء في حالته السائلة. (المترجم)

الأرض، وربما المريخ.

إلا أن علماء الفلك كانوا مخطئين. فبعد أن أبحرت سفينة الفضاء (فوياجير) Voyager إلى ما وراء أقمار المشتري، أصبح واضحاً أن هناك مكاناً آخر يمكن أن تزدهر فيه الحياة، ويقع هذا المكان تحت الغطاء الجليدي لأقمار المشتري. وسرعان ما جذب القمر (يوروبا) Europa، وهو أحد أقمار المشتري اكتشفه جاليليو Galileo عام 1610، انتباه الفلكيين. ومع أن سطح القمر يوروبا مكّس بالجليد على نحو دائم، فهناك تحت هذا الجليد محيط من الماء السائل. ولما كان المحيط على القمر يوروبا أعمق كثيراً من محيطات الأرض، فإن الحجم الإجمالي لمحيط يوروبا يُقدر بضعفي حجم محيطات الأرض.

لقد كانت المعرفة بوجود مصدر لطاقة وفيرة داخل النظام الشمسي بخلاف الشمس بمثابة صدمة. فتحت الجليد الذي يكسو سطحه، تعمل قوى مد وجذر على تسخين سطح القمر على نحو متواصل. فمع دوران يوروبا السريع في مداره حول المشتري، تؤدي الجاذبية الهائلة للكوكب الضخم للضغط على القمر في اتجاهات مختلفة، مما يولد الاحتكاك في قلب القمر على عمق كبير، فيولد هذا الاحتكاك حرارة تؤدي بدورها إلى إذابة الجليد وصنع محيط مستقر من الماء السائل.

ويعني هذا الاكتشاف أنه ربما كانت أقمار الكواكب الغازية البعيدة العملاقة أكثر إثارة للاهتمام من الكواكب ذاتها. (والأرجح أن هذا كان أحد الأسباب التي جعلت المخرج جيمس كاميرون James Cameron يختار أحد أقمار كوكب بحجم المشتري ليكون موقع أحداث فيلمه

(أفاتار Avatar عام 2009). وقد تزدهر الحياة - التي كان يُعتقد في وقت من الأوقات أنها نادرة الوجود في الكون - في ظلمة الفضاء على سطح أقمار كواكب غازية عملاقة بعيدة. وهكذا، تضاعف فجأة عدد الأماكن التي يحتمل أن تزدهر فيها الحياة أضعافاً كثيرة.

ونتيجة لهذا الاكتشاف المهم، تحدد مبدئياً إطلاق مسبار يحمل الاسم (مهمة نظام المشتري لدراسة يوروبا) Europa Jupiter System Mission (واختصاراً EJSM) عام 2020. وقد صُمم هذا المسبار للدوران حول القمر يوروبا، وربما الهبوط فوقه. وفيما وراء هذا، يحلم العلماء باستكشاف القمر يوروبا عن طريق إرسال معدات أكثر تطوراً. لقد درس العلماء عدة طرق متنوعة للبحث عن الحياة تحت الجليد. وأحد الاحتمالات لذلك (مهمة شق جليد يوروبا) Europa Ice Clipper Mission التي ستسقط أجساماً كروية على السطح الجليدي للقمر. وبعد ذلك، سيتم تحليل سحابة الحطام الناتجة عن الاصطدام بعناية بواسطة سفينة فضائية ستحلّق عبرها. وهناك برنامج أكثر طموحاً من هذا يقضي بوضع غواصة آلية يتم التحكم فيها عن بعد تحت الجليد.

وقد زاد الاهتمام بالقمر يوروبا أيضاً من خلال معدات متطورة جديدة تعمل تحت المحيط هنا على سطح الأرض. فحتى السبعينات من القرن العشرين، ظن معظم العلماء أن الشمس مصدر الطاقة الوحيد الذي يمكنه أن يجعل الحياة ممكنة. لكن في عام 1977، عثرت الغواصة (ألفين) Alvin على أدلة حول وجود أشكال جديدة من الحياة تزدهر في أماكن لم يتصورها

أحد من قبل. فعند استكشافها لجزر (صدع جالاباجوس)<sup>(1)</sup> Galapagos rift، وجدت الغواصة ديدانا أنبوبية عملاقة، ومحاراً، وقشريات، وأسماكاً صدفية، وأشكالاً أخرى من الحياة تستخدم طاقة الحرارة المنبعثة من الفوهات البركانية لتبقى حية. وأينما وجدت الطاقة، قد توجد الحياة؛ وقد وفرت تلك الفوهات البركانية الموجودة تحت سطح البحر مصدراً جديداً للطاقة في الظلمة الخالكة لأعماق البحر. بل إن بعض العلماء في واقع الأمر اقترحوا أن الحمض النووي الأول في الحياة لم يتشكل في بركة مائية على شواطئ بحار الأرض، وإنما في أعماق البحار بالقرب من فوهة بركان. فقد عُثر على بعض أكثر أشكال الحمض النووي بدائية (وربما أكثرها قدماً) في قاع المحيط. وإذا كان الأمر كذلك، فربما كان بمقدور الفوهات البركانية على سطح القمر يوروباً أن توفر الطاقة اللازمة لإنتاج شيء شبيه بالحمض النووي.

ولا يسعنا سوى التفكير في أشكال الحياة المحتملة التي يمكن أن تتشكل تحت جليد يوروباً. ولو وجدت مثل هذه الأشكال من الحياة، فالأرجح أنها ستكون مخلوقات عائمة تستخدم السونار - بدلاً من الضوء - في الإبحار، لذا فإن نظرتها للكون سيكون سقفها هو العيش تحت (سما) من الجليد.

(1) صدع جالاباجوس Galapagos rift: صدع يضم مجموعة من الجزر تقع شرق المحيط الهادي عند خط الاستواء. (المترجم)

## قمر الفضاء (ليزا): ما قبل الانفجار الكبير

هناك قمر فضاء آخر يمكنه أن يصنع ثورة في المعرفة العلمية، وهو (الهوائي الفضائي لمقياس التداخل الليزري) Laser Interferometer Space Antenna (ويعرف اختصاراً باسم (ليزا) LISA)، وكذلك خلفاؤه من بعده. وتلك الأقمار الاستكشافية قد تكون قادرة على تحقيق المستحيل المتمثل في: معرفة ما حدث قبل الانفجار الكبير.

لقد استطعنا مؤخراً قياس المعدل الذي تتحرك به المجرات مبتعدة عنا (وهذا بفضل ما يعرف باسم (تأثير دوبلر)<sup>(1)</sup> Doppler shift، حيث ينحرف الضوء إذا كان النجم يتحرك مقترباً منا أو مبتعداً عنا). ويعطينا هذا معدل تمدد الكون. ومن ثم، يمكننا (تشغيل شريط الفيديو عكسياً)، وحساب الوقت الذي وقع فيه الانفجار الأصلي. ويشبه هذا كثيراً الطريقة التي يمكننا بها تحليل الأطلال الملتهبة المنبعثة من انفجار ما لتحديد وقت حدوث هذا الانفجار. وهكذا، استطعنا أن نحدد أن الانفجار الكبير وقع منذ نحو 13.7 مليار سنة مضت. غير أن المحيط في الأمر أن قمر الفضاء الحالي المعروف باسم (مسبار ويلكينسون لقياس اختلاف موجات الراديو)<sup>(2)</sup> Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (ويعرف

(1) تأثير دوبلر Doppler shift أو Doppler effect: تغير ظاهري للتردد أو الطول الموجي للأمواج عندما تُرصد من قبل مراقب متحرك بالنسبة للمصدر الموجي. ويدعى هذا التأثير بتأثير دوبلر نسبة إلى دوبلر الذي اكتشف هذه الظاهرة. ويُفترض ثبات المشاهد حتى يستطيع رصد التغير في الطول الموجي للموجات القادمة إليه من المصدر، وعلي أساسها يستطيع تحديد ما إذا كان الجسم مقترباً أم مبتعداً. (المترجم)

(2) مسبار ويلكينسون لقياس اختلاف موجات الراديو Wilkinson Microwave Anisotropy Probe: مركبة فضائية عبارة عن مرصد دوار مصمم لقياس الأشعة التي خلفت بداية الكون. وقد استطاع رسم خريطة إشعاع بدرجة غير مسبوقة من التفصيل والدقة. (المترجم)

اختصاراً باسم WMAP) لا يستطيع الوصول لأكثر من 400000 سنة بعد وقوع الانفجار الأصلي. لذا فإن أقمارنا الصناعية يمكنها أن تخبرنا فقط بأنه كان هناك انفجار، لكنها لا تستطيع أن تخبرنا أسباب حدوث الانفجار، وطبيعة الشيء الذي انفجر.

لهذا السبب يثير مسبار الفضاء (ليزا) كثيراً من الحماس؛ فهو يقوم بقياس نوع جديد تماماً من الإشعاع، وهو: أمواج الجاذبية منذ لحظة الانفجار الكبير نفسه.

وفي كل مرة يتم فيها استخدام شكل جديد من أشكال الإشعاع، يؤدي هذا التغيير رؤيتنا للعالم. فعندما استخدم جاليليو التلسكوبات البصرية لرسم خريطة للكواكب والنجوم، فتحت تلك التلسكوبات الباب أمام علم الفلك. وعندما أتقنا استخدام تلسكوبات موجات الراديو عقب نهاية الحرب العالمية الثانية مباشرة، تكشف أماننا عالم من استكشاف النجوم والثقوب السوداء. والآن، يمكن للجيل الثالث من التلسكوبات - الذي يمكنه اكتشاف أمواج الجاذبية - أن يفتح أماننا أفقاً أكثر إبهاراً، وعالمنا من الثقوب السوداء المتصادمة، وأبعاداً أعلى، بل وحتى أكواناً متعددة.

وقد تم تحديد تاريخ إطلاق المسبار (ليزا) مبدئياً ليكون في وقت ما بين عامي 2018 و2020. ويتكون هذا المسبار من ثلاثة أقمار صناعية ستشكل معاً مثلثاً هائل الحجم بطول 3 ملايين ميل، ويربط بينها ثلاثة أشعة ليزرية. وسيكون هذا المسبار أكبر جهاز فضائي يوضع في مدار حول الأرض على الإطلاق. وسوف تتسبب أي موجة جاذبية للانفجار الكبير ما تزال تتردد عبر الكون في هز الأقمار قليلاً. وهذا الاضطراب سيغير أشعة الليزر، وسوف تسجل المستشعرات تردد وسمات الاهتزاز. وبهذه الطريقة،



سوف يتمكن العلماء من الوصول إلى نطاق يبلغ جزءاً من تريليون جزء من الثانية بعد حدوث الانفجار الكبير (وفقاً لأينشتاين، الوقت في الفضاء يشبه نسيجاً يمكن ثنيه ومطه. ولو أن هناك اضطراباً كبيراً، كتصادم ثقبين أسودين أو الانفجار الكبير نفسه، فيمكن أن تتشكل موجات تنتقل عبر هذا النسيج. وتلك التموجات، أو أمواج الجاذبية، ستكون أصغر من أن يمكن اكتشافها بواسطة أجهزة تقليدية، ولكن المسبار (ليزا) حسّاس وضخم بما يكفي لاكتشاف الترددات التي تسببها موجات الجاذبية تلك). ولن يكون المسبار (ليزا) قادر فقط على اكتشاف إشعاع الثقوب السوداء المتصادمة، بل إنه قد يتمكن أيضاً من النظر في حقبة ما قبل الانفجار الكبير، وهو الأمر الذي كان يُعتقد في وقت من الأوقات أنه مستحيل.

أما في وقتنا الحالي، فهناك العديد من النظريات عن حقبة ما قبل الانفجار الكبير، وهي نظريات نابذة من (نظرية الأوتار)<sup>(1)</sup> String Theory، وهي مجال تخصصي. ووفقاً لأحد السيناريوهات، يفترض أن كوننا عبارة عن فقاعة ضخمة من نوع ما مستمرة في التمدد. ونحن نعيش على سطح تلك الفقاعة العملاقة (عالقون على سطح الفقاعة كما يلتصق الذباب بالأوراق اللاصقة). ويتواجد كوننا الفقاعي داخل محيط من الأكوان الفقاعية الأخرى التي تشكل أكواناً عديدة، كحمام من

(1) نظرية الأوتار String Theory: مجموعة من الأفكار الحديثة حول تركيب الكون تستند إلى معادلات رياضية معقدة. وتنص هذه الأفكار على أن الأشياء أو المادة مكونة من أوتار حلقة مفتوحة وأخرى مغلقة متناهية في الصغر لا سمك لها، وأن الوحدة البنائية الأساسية للدقائق العنصرية، من الإلكترونات وبروتونات ونيوترونات وكواركات، عبارة عن أوتار حلقة من الطاقة تجعلها في حالة من عدم الاستقرار الدائم، وأن هذه الأوتار تتذبذب وتحدد وفقها طبيعة وخصائص الجسيمات الأكبر منها مثل البروتون والنيوترون والإلكترون. (المترجم)

الفقاعات. وأحياناً، قد تتصادم تلك الفقاعات (لتعطينا ما يعرف باسم (نظرية الاصطدام أو الارتطام الكبير) (big splat theory)، وقد تندمج في فقاعات أصغر ثم تتمدد وتتسع (لتعطينا ما يسمى (التضخم الأبدي) (eternal inflation). وكل من هذه النظريات لما قبل الانفجار الكبير يتنبأ بالكيفية التي ينبغي أن يطلق بها الكون إشعاعات الجاذبية بعد لحظات من الانفجار الأول. ويمكن للمسبار (ليزا) بعد ذلك أن يقيس إشعاع الجاذبية المنبعث بعد وقوع الانفجار الكبير، ويقارنه بالتنبؤات العديدة لنظرية الأوتار. وبهذه الطريقة، قد يكون المسبار (ليزا) قادراً على استبعاد أو احتواء بعض هذه النظريات.

ولكن حتى إذا لم يكن المسبار (ليزا) حساساً بما يكفي لإنجاز تلك المهمة الدقيقة، فربما كان الجيل التالي من أجهزة الكشف التالية لمسبار (ليزا) (مثل مسبار (مراقب الانفجار الكبير) (Big Bang Observer) قادراً على إنجاز المهمة. وإذا حققت مستكشفات الفضاء تلك النجاح، فإنها قد تجيب عن السؤال الذي استعصى على التفسير لقرون من الزمن، وهو: ما المصدر الأصلي لميلاد الكون؟ لذا، فعلى المدى القريب، قد يكون كشف النقاب عن منشأ الانفجار الكبير احتمالاً مميزاً.

## المهام البشرية إلى الفضاء

في حين ستستمر المهام الآلية في فتح آفاق جديدة لاستكشاف الفضاء، فإن المهام التي يُرسل فيها البشر ستواجه عقبات أكبر كثيراً. ويرجع هذا إلى أن المهام الآلية، مقارنة بالمهام البشرية، قليلة التكلفة ومتعددة المهام، إذ

يمكنها استكشاف بيئات خطيرة، ولا تتطلب دعماً باهظ التكلفة للحياة، والأكثر أهمية أنه لا ضرورة ماسة لعودتها إلى الأرض سالمة. في عام 1969، بدأ وكان رواد الفضاء تم وضعهم لاستكشاف النظام الشمسي. كان نيل أرمسترونج Neil Armstrong وبارز ألدرين Buzz Aldrin قد سارا للتو على سطح القمر، وكان الناس يحلمون بالفعل بالوصول إلى المريخ وأبعد منه. بدأ الأمر وكأننا على عتبة الوصول إلى النجوم. كان عصر جديد للبشرية ينبثق.

## ثم انهار الحلم

وكما كتب مؤلف الخيال العلمي إيزاك أسيموف<sup>(1)</sup>، فقد أحرزنا هدفاً، وأخذنا كرتنا وذهبنا إلى بيوتنا. واليوم، وضعت سلسلة صواريخ الدفع (ساتورن) Saturn القديمة هامة في المتاحف أو صدأة في مقالب النفايات. وسُمح لجيل كامل من كبار علماء الصواريخ بالتفرق والتبعثر، وتشتت القوة الدافعة لسباق الفضاء ببطء. واليوم، لا يمكننا العثور على مرجع للمشية الشهيرة على سطح القمر سوى في كتب التاريخ المهملة. ماذا حدث إذن؟ الكثير من الأمور، منها حرب فيتنام وفضيحة ووترجيت وغير ذلك. ولكن كل شيء يتلخص في الأساس في كلمة واحدة فقط: التكلفة.

(1) إيزاك أسيموف Isaac Asimov: مؤلف أمريكي، روسي المولد، من أصول يهودية. اشتهر بتأليف روايات الخيال العلمي التي لاقت نجاحاً وانتشاراً كبيرين. وقد تركت مؤلفاته أثراً كبيراً في سينما الخيال العلمي. (المترجم)

إننا ننسى أحيانا أن السفر إلى الفضاء مكلف، بل باهظ التكلفة. إن تكلفة وضع رطل واحد من أي شيء فقط في مدار قريب من الأرض تصل إلى 10000 دولار. تخيل وزن جون جلين<sup>(1)</sup> John Glenn بالكامل من الذهب ليمكنك فهم تكلفة السفر إلى الفضاء. أما الوصول إلى المريخ فسيكلف نحو مليون دولار لكل رطل (وهو ما يعادل وزن الإنسان كاملا من الماس).

غير أن كل هذا طغت عليه الإثارة والدراما المصاحبة للمنافسة بين الأمريكيين والروس. وحجبت الأعمال الفضائية المدهشة التي قام بها رواد فضاء شجعان التكلفة الحقيقية لرحلات الفضاء عن الرؤية، لأن الأمم كانت مستعدة لدفع الغالي والنفيس إذا كان فخرها الوطني عرضة للخطر. ولكن يبدو أنه حتى القوى العظمى في العالم لا يمكنها الاستمرار في تحمل تلك التكاليف لعقود طويلة.

ومما يدعو للأسف أنه مر أكثر من 300 عام منذ كتب سير إسحاق نيوتن قوانين الحركة أول مرة، ومع ذلك فإننا لا نزال عاجزين أمام عملية حسابية بسيطة. فمن أجل قذف عنصر ما إلى مدار قريب من الأرض، علينا إرساله بسرعة 18000 ميل في الساعة. ولإرساله إلى أعماق الفضاء، ليتجاوز مجال الجاذبية الأرضية، علينا دفعه بسرعة 25000 ميل في الساعة (وللوصول إلى هذا الرقم السحري، 25000 ميل في الساعة، علينا استخدام قانون الحركة الثالث لنيوتن: لكل فعل رد فعل مساو له في المقدار ومضاد له

(1) جون جلين John Glenn: أول أمريكي يدور حول الأرض في عام 1962. (المترجم)

في الاتجاه. ويعني هذا أن الصاروخ يمكنه الانطلاق للأمام بسرعة لأنه يقذف للخارج غازات ساخنة في الاتجاه المضاد، بالطريقة ذاتها التي يطير بها بالون في أنحاء الحجره عندما تنفخه ثم تفلت فوهته لينطلق الهواء منه). وهكذا، فإن الانتقال من قوانين نيوتن إلى حساب تكلفة السفر إلى الفضاء هو خطوة بسيطة. فليس هناك قانون هندسي أو فيزيائي يعوقنا عن استكشاف النظام الشمسي؛ إنها مسألة تكلفة فحسب.

والأسوأ من هذا أن الصاروخ يجب أن يحمل الوقود الذي ينطلق به، مما يزيد وزنه أكثر. وتتغلب الطائرات على هذه المشكله جزئياً لأنها تستطيع التزود بالأكسجين من الهواء الخارجي، ومن ثم تحرقه في محركاتها. ولكن نظراً لعدم وجود هواء في الفضاء، كان لابد للصواريخ أن تحمل خزانات الأكسجين والهيدروجين المطلوبة.

وليس هذا هو السبب فقط وراء ارتفاع تكلفة السفر إلى الفضاء، وإنما هو أيضاً السبب وراء عدم وجود حقائب نفائث وسيارات طائرة. وقد أضفى كُتاب الخيال العلمي (وهم ليسوا علماء حقيقيين) البهاء على اليوم الذي سنضع فيه على ظهورنا حقائب نفائث ونطير بها إلى العمل، أو نطلق يوم العطلة الأسبوعية في رحلة طائرة على متن سيارتنا العائلية الطائرة. وقد شعر كثير من الناس بخيبة الأمل في هؤلاء المستقبلين لأن تلك التنبؤات لم تتحقق أبداً (ولهذا السبب نرى موجة من المقالات والكتب التي تحمل عناوين متشائمة مثل (أين حقيبتى الطائرة؟). ولكن حسبة سريعة توضح لنا السبب. إن الحقائب النفائث موجودة بالفعل، بل إن النازيين استخدموها لفترة قصيرة خلال الحرب العالمية الثانية. ولكن

بروكسيد الهيدروجين، وهو الوقود الشائع المستخدم في الحقايب النفائة، سرعان ما ينفد، لذا فإن الرحلة التقليدية باستخدام الحقيبة النفائة لا تستمر سوى لدقائق معدودة. كما أن السيارات الطائرة التي تستخدم مراوح كمراوح طائرات الهليكوبتر تستهلك قدرا هائلا من الوقود، مما يجعلها باهظة التكلفة للمسافر العادي في ضواحي المدن.

## إلغاء برنامج العودة إلى القمر

إن مستقبل الاستكشاف البشري للفضاء في حالة اضطراب حاليا بسبب التكلفة الهائلة لرحلات الفضاء. وقد عرض الرئيس الأمريكي السابق جورج دابليو. بوش خطة واضحة طموحة لبرنامج الفضاء: أولا، أن يحال مكوك الفضاء للتقاعد عام 2010، ليحل محله عام 2015 نظام صاروخي جديد يسمى (الكوكبة) Constellation. ثانيا، أن يعود رواد الفضاء إلى القمر بحلول عام 2020، ليقموا هناك في نهاية الأمر قاعدة دائمة يرئادها ويديرها البشر. ثالثا، أن يمهّد هذا الطريق لإرسال بعثة بشرية إلى المريخ. بيد أن اقتصادات السفر إلى الفضاء تغيرت على نحو كبير منذ ذلك الوقت، وبصفة خاصة لأن الأزمة الاقتصادية العالمية جففت مصادر تمويل المهام الفضائية المستقبلية. وقد توصل تقرير لجنة أوجستين Augustine Commission، المرفوع إلى الرئيس باراك أوباما عام 2009، إلى أن الخطة سالفة الذكر غير قابلة للتنفيذ في ضوء مستويات الاعتمادات المالية الحالية. وفي عام 2010، صادق الرئيس أوباما على نتائج لجنة أوجستين، ملغيا مكوك الفضاء وبديله الذي كان سيضع أساس عودة البشر إلى القمر.

وعلى المدى القريب، بدون وجود الصواريخ اللازمة لإرسال رواد الفضاء إلى الفضاء، ستكون وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) مرغمة على الاعتماد على الروس. وفي الوقت الراهن، يمثل هذا فرصة للشركات الخاصة لبناء الصواريخ اللازمة للاستمرار في برنامج الفضاء المعتمد على البشر. وفي تناقض حاد مع الماضي، لن تعود (ناسا) هي من يبنى الصواريخ لبرنامج الفضاء البشري. هذا ويقول مؤيدو تلك الخطة إنها ستبدأ عصرًا جديدًا للسفر في الفضاء، عندما تتولى الشركات الخاصة الأمر. بينما يقول المنتقدون إن هذه الخطة ستحط من شأن (ناسا) لتصبح (وكالة بلا غاية).

## الهبوط على أحد الكويكبات

وضع تقرير أوجستين مايسمي بـ (المسار المرن)، وهو مسار يضم عدة أهداف معتدلة لا تتطلب قدرًا كبيرًا جدًا من وقود الصواريخ؛ مثل السفر إلى أحد الكويكبات القريبة التي يتصادف مرورها بالقرب منا، أو السفر إلى قمر المريخ. وأوضح التقرير أن كويكبا كهذا قد لا يكون موجودًا على خرائطنا السماوية بعد؛ وربما كان كويكبا هائما في الفضاء يمكن اكتشافه في المستقبل القريب.

وتكمن المشكلة، وفقا لما جاء في تقرير أوجستين، في أن وقود الصواريخ اللازم للهبوط على سطح أحد قمر المريخ والعودة منه، أو من المريخ نفسه بصفة خاصة، سيكون باهظ التكلفة على نحو مانع. ولكن لما كانت الكويكبات الصغيرة وقمر المريخ ذات مجالات جاذبية منخفضة للغاية، فإن تلك الرحلات لن تحتاج لكميات كبيرة جدًا من الوقود. كما ذكر

تقرير أوجستين أيضا إمكانية زيارة نقاط (لاجرانج) Lagrange points، وهي مواضع في الفضاء الخارجي تلغي عندها جاذبية الأرض وجاذبية القمر بعضهما بعضا (وقد تؤدي هذه النقاط دور مقلب نفاية كوني، حيث تتجمع فيه الأنقاض القديمة من النظام الشمسي القديم، لذا فإن بوسع رواد الفضاء عند زيارتها أن يجدوا صخورا مثيرة للاهتمام تعود إلى وقت تكوين النظام الأرضي القمري).

ومن المؤكد أن الهبوط على أحد الكويكبات الصغيرة سيكون مهمة منخفضة التكلفة لأن الكويكبات الصغيرة لها مجال جاذبية ضعيف للغاية (وهذا أيضا هو السبب وراء كون الكويكبات ذات أشكال غير منتظمة، وليست دائرية الشكل. ففي هذا الكون، الأجسام الضخمة - كالنجوم، والكواكب، والأقمار - جميعها مستديرة لأن جاذبيتها تعمل على نحو متساوٍ. وعلى هذا، فإن أي شذوذ في شكل كوكب ما يتلاشى تدريجيا مع ضغط الجاذبية على غلافها الخارجي. غير أن مجال جاذبية الكويكبات الصغيرة ضعيف جدا بحيث لا يستطيع ضغط الكويكب ليتخذ شكلا دائريا منتظما).

ولن تشكل زيارة كويكب (أبوفيس)<sup>(1)</sup> Apophis عبئا ثقيلاً على ميزانية وكالة ناسا لأن الكويكب سيقرب من الأرض على أي حال،

(1) نيزك أو كويكب أبوفيس Apophis: نيزك اكتُشف عام 2004 بطول 250 متر، مكون من الحديد، وزن 20 مليون طن، ويتبع مساراً قريباً من مسار الأرض الذي يلتقي به مرتين في دورته. وقد توصلت (ناسا) في حزيران 2006 إلى أن عبور هذا النيزك على مسافة 32 ألف كيلومتر عام 2029 ميلادي سيجعله عرضةً لجاذبية الأرض، مما سيؤدي إلى جذب مساره صوبها، ما جعل (ناسا) تعلن أن الاصطدام مؤكد خلال المئة عام المقبلة، وأغلب الحسابات تنبأت أن عام 2036 هو الاحتمال الأقوى. (المترجم)



ولكن الهبوط على سطح الكويكب قد يمثل مشكلة. فلما كان للكويكب الصغير مجال جاذبية ضعيف، فإن الهبوط سيكون أقرب لدخول رصيف ميناء منه للهبوط على كويكب بالمعنى المألوف. كما أن الكويكب يدور على نحو غير منتظم على الأرجح، لذا لا بد من إجراء حسابات وقياسات دقيقة قبل الهبوط. وسيكون من المثير للاهتمام إجراء اختبارات لنرى مدى صلابة الكويكب. ويعتقد البعض أن الكويكبات قد تكون عبارة عن مجموعة من الصخور المتماسكة معا على نحو غير محكم بفعل مجال جاذبية ضعيف. بينما يعتقد آخرون أنه قد يكون صلبا ومتماسكا. ولا شك أن تحديد مدى تماسك كويكب ما هو أمر قد يكون مهما في يوم من الأيام، إذا اضطررنا لاستخدام أسلحة نووية لتدمير أحدها، فالكويكبات قد تتفكك إلى قطع كبيرة عديدة، بدلاً من أن تتحول إلى مسحوق ناعم. وإذا حدث هذا، فإن خطر تلك القطع الكبيرة قد يكون أعظم من التهديد الأصلي نفسه. وقد يكون وكر الكويكب ودفعه بعيدا عن مسار الارتطام بالأرض قبل أن يقترّب منها فكرة أفضل من محاولة تدميره.

## الهبوط على أحد قمري المريخ

مع أن تقرير أوجستين لم يدعم عملية إرسال مهمة بشرية إلى المريخ، فإن أحد الاحتمالات المثيرة للاهتمام هو إرسال رواد فضاء لزيارة قمري المريخ؛ فوبوس Phobos وديموس Deimos. وهذان القمران أصغر كثيرا جدا من قمر الأرض، وبالتالي فإن مجالي جاذبيتهما ضئيلان للغاية. وهناك العديد من المزايا للهبوط على قمري المريخ، فضلا عن ميزة توفير التكلفة.

1. يمكن استخدام هذين القمرين كمحطتين فضائيتين، فهما سيوفران وسيلة سهلة لتحليل كوكب المريخ من الفضاء دون زيارته.  
2. يمكن للقمرين في نهاية الأمر أن يوفر طريقة سهلة للوصول إلى المريخ. فالقمر فوبوس يقع على بعد أقل من 6000 ميل من مركز المريخ، لذا فمن الممكن القيام برحلة سريعة إلى الكوكب الأحمر (المريخ) في غضون ساعات معدودة.

3. الأرجح أن هذين القمرين سيضمنان كهوفاً يمكن استخدامها كقاعدة ثابتة يديرها البشر للحماية من النيازك والإشعاع. والقمر فوبوس تحديداً يضم فوهة البركان الضخمة المعروفة باسم (ستيكني) Stickney على جانبه، وهو ما يشير إلى أن القمر تعرض لضربة نيزك ضخمة وكاد يتبعثر في الفضاء. غير أن جاذبية القمر أعادت تجميع أجزاء القمر وتشكيله ببطء من جديد. والأرجح أن هناك وفرة من الكهوف والفجوات الباقية عن هذا التصادم القديم.

## العودة إلى القمر

ذكر تقرير لجنة أوجستين أيضاً برنامجاً يُعرف باسم (القمر أولاً)، حيث يجب العودة إلى القمر، ولكن فقط إذا توفر المزيد من التمويل؛ 30 مليار دولار على الأقل على مدار عشر سنوات. ولما كان هذا أمراً مستبعداً، فإن برنامج العودة إلى القمر، في واقع الأمر، تم إلغاؤه، على الأقل على مدار السنوات المقبلة.

وكانت مهمة القمر الملغاة تحمل اسم (برنامج الكوكبة) Constellation

Program، وتتكون من عدة مكونات كبرى. أولاً، كان هناك صاروخ الدفع (آريس) Ares، وهو أول صاروخ دفع أمريكي كبير منذ تخزين صاروخ ساتورن Saturn القديم في السبعينات من القرن العشرين. وفوق هذا الصاروخ توجد كبسولة (أوريون) Orion التي يمكنها حمل ستة رواد فضاء إلى المحطة الفضائية، أو أربعة رواد فضاء إلى القمر. ثم هناك مركبة الهبوط (ألتاير) Altair التي كان من المفترض أن تهبط فعلياً على سطح القمر. وكان مكوك الفضاء القديم، حيث كان الصاروخ المكوكي موضوعاً على جانب صاروخ الدفع، يشتمل على عدد من عيوب التصميم، ومنها أن الصاروخ كان يتساقط منه أجزاء من الفوم. وكان لذلك آثار كارثية على مكوك الفضاء (كولومبيا) Columbia الذي تحطم عند إعادة الدخول عام 2003، مما تسبب في مقتل سبعة رواد فضاء شجعان؛ وذلك لأن قطعة من الفوم ارتطمت من صاروخ الدفع بالمكوك وصنعت فجوة في جناحه أثناء الإقلاع. وعند إعادة دخوله إلى الأرض، اخترقت الغازات الساخنة هيكل المكوك، فقتلت جميع من كانوا بداخله وتسببت في تحطمه. وفي صاروخ (الكوكبة)، كانت تلك المشكلة ستنتهي تماماً، مع وضع كبسولة الطاقم فوق صاروخ الدفع مباشرة.

وقد أطلقت الصحافة على برنامج (الكوكبة) اسم (برنامج أبولو القائم على المنشطات) لأنه بدا شديد الشبه ببرنامج الصواريخ القمرية في سبعينات القرن العشرين. وكان مقدراً أن يبلغ طول صاروخ الدفع (آريس 1) 325 قدماً، وهو طول يضاهي طول الصاروخ (ساتورن 5) الذي بلغ طوله 363 قدماً. وكان من المفترض أن يحمل آريس 1 الكبسولة (أوريون)

إلى الفضاء، لتحل محل مكوك الفضاء القديم. ولكن كان من المفترض أن تستخدم وكالة الفضاء ناسا الصاروخ (آريس 5)، الذي بلغ طوله 381 قدما وكان قادرا على حمل 207 أطنان إلى الفضاء، لنقل أي شيء ثقيل الوزن. وبذا كان الصاروخ (آريس 5) سيصبح العمود الفقري لأي مهمة تُرسل إلى القمر أو إلى المريخ. (ورغم أن صواريخ آريس قد ألغيت، فهناك حديث عن إنقاذ بعض من مكوناتها من أجل مهام مستقبلية).

### قاعدة قمرية دائمة

على الرغم من أن الرئيس أوباما ألغى برنامج الكوكبة، فإنه ترك عدة خيارات مفتوحة. والآن، يتم دراسة استخدام كبسولة أوريون، وهي التي كان من المفترض أن تعيد رواد الفضاء مرة أخرى إلى القمر، كحجرة هروب لمحطة الفضاء الدولية. وفي لحظة ما في المستقبل، عندما يستعيد الاقتصاد عافيته، قد ترغب إدارة أخرى في الاهتمام بالعودة إلى القمر مرة أخرى، بما في ذلك إنشاء قاعدة قمرية.

وتواجه مهمة تأسيس وجود دائم على سطح القمر العديد من العقبات. والعقبة الأولى هي النيازك المجهرية الصغيرة جدا. فبسبب عدم وجود هواء على القمر، كثيرا ما تصطدم به الصخور من الفضاء الخارجي. ويمكننا رؤية هذا بالنظر إلى وجهه الذي ترك اصطدام النيازك به ندوبا عديدة يرجع عمر بعضها إلى مليارات السنين.

ولقد ألقيت نظرة شخصية على هذا الخطر عندما كنت طالبا بالدراسات العليا في جامعة كاليفورنيا في بيركلي. وكانت صخور القمر التي تمت

إعادتها من الفضاء في بداية السبعينات من القرن العشرين تبث شعورا بالإنارة في الأوساط العلمية. وقد دُعيت إلى معمل كان يقوم بتحليل صخرة من صخور القمر باستخدام ميكروسكوب. وبدأت الصخرة التي رأيتها عادية، إذ إن صخور القمر تبدو شديدة الشبه بصخور الأرض، ولكن تحت عدسة الميكروسكوب تلقيت صدمة هائلة. لقد رأيت ثقوبا نيزكية صغيرة في الصخرة، وبداخلها ثقوب أصغر. وكانت تلك الثقوب المتداخلة بعضها بعضا شيئا لم أره من قبل قط. وسرعان ما أدركت أنه دون وجود غلاف جوي، فإن أصغر ذرة تراب ميكروسكوبية ترتطم بالإنسان بسرعة 40000 ميل في الساعة يمكن أن تقتله بسهولة، أو على الأقل تخترق جلته الفضائية (ويدرك العلماء الضرر الهائل الذي تصنعه تلك النيازك المجهرية لأنهم يستطيعون محاكاة صدماتها، فقد أشأوا مواسير مدافع ضخمة في معاملهم يمكنها إطلاق قذائف معدنية لدراسة تلك الاصطدامات النيزكية).

وأحد الحلول الممكنة هو بناء قاعدة قمرية تحت الأرض. فبسبب النشاط البركاني القديم للقمر، هناك احتمال أن يجد رواد الفضاء قناة للحمم تمتد عميقا داخل قلب القمر (وقنوات الحمم البركانية تصنعها تدفقات الحمم القديمة التي تنحت هياكل وقنوات وأنفاقا شبيهة بالكهوف تحت الأرض). وفي عام 2009، عثر العلماء على قناة حمم بحجم ناطحة سحاب تقريبا يمكنها أن تحتضن قاعدة دائمة للبشر على سطح القمر.

ويمكن لهذا الكهف الطبيعي أن يوفر حماية رخيصة التكلفة لرواد الفضاء من الأشعة الكونية والتوهجات الشمسية. ومعلوم أن مجرد القيام برحلة

عبر القارة الأمريكية من نيويورك إلى لوس أنجلوس يعرض المرء لواحد ميللي ريم<sup>(1)</sup> من الإشعاع كل ساعة (وهو ما يعادل التصوير الإشعاعي للأسنان). وبالنسبة لرواد الفضاء الذين سيتواجدون على سطح القمر، قد يكون الإشعاع مكثفا للغاية إلى حد قد يحتاجون معه للعيش في قواعد تحت الأرض. فمن دون غلاف جوي، سوف يتسبب فيض مميت من التوهجات الشمسية والأشعة الكونية في تعرّض رواد الفضاء لخطر شديد مباشر، مما ينتج عنه الشيخوخة المبكرة، وربما حتى الإصابة بالسرطان.

وكذلك يمثل انعدام الوزن مشكلة، خاصة بالنسبة للمهام الطويلة في الفضاء. وقد واتتني فرصة زيارة مركز التدريب التابع لناسا في كليفلاند بولاية أوهايو، حيث تتم هناك اختبارات مكثفة على رواد الفضاء. وفي أحد الاختبارات التي شهدتها، كان الشخص الخاضع للاختبار معلقا بسرج بحيث يكون جسده موازيا للأرض. وبعد ذلك، بدء في العدو على جهاز جري في وضع رأسي. وعن طريق العدو على هذا الجهاز، يستطيع علماء ناسا محاكاة انعدام الوزن أثناء اختبار قدرة الفرد على التحمل.

وعندما تحدثت إلى الأطباء في (ناسا)، علمت أن انعدام الوزن أكثر ضررا بالصحة مما كنت أظن قبل ذلك. فقد أوضح لي أحد الأطباء أنه بعد عدة عقود من تعريض رواد الفضاء الأمريكيين والروس لانعدام الوزن لفترات مطولة، أدرك العلماء الآن أن الجسد يتعرض لتغيرات كبيرة: يحدث ضمور للعضلات، والعظام، والجهاز القلبي الوعائي. إن أجسادنا نشأت

(1) ميللي ريم millirem: وحدة لقياس الإشعاع. (المترجم)

وتطورت على مدار ملايين السنين وهي تعيش في مجال جاذبية الأرض؛ وعندما توضع في مجال جاذبية أضعف لفترات طويلة من الوقت، ترتبك وتختل جميع عملياتنا الحيوية بشدة.

وقد كان رواد الفضاء الروس الذين يقضون نحو عام في الفضاء في غاية الضعف عندما يعودون إلى الأرض لدرجة أنهم بالكاد يستطيعون الزحف. فحتى لو أنهم كانوا يمارسون الرياضة يوميا في الفضاء، فإن عضلاتهم تضمّر، وعظامهم تفقد الكالسيوم، وتصاب أجهزة القلب والوعائية بالضعف والوهن. ويستغرق بعض رواد الفضاء شهورا ليتعافوا من هذه الأضرار التي قد يكون بعضها دائما. إن رحلة إلى المريخ، وهي رحلة قد تستغرق عامين، يمكن أن تستنزف قوة رواد الفضاء بحيث لا يستطيعون أداء مهمتهم عندما يصلون إلى هناك. (ويتمثل أحد الحلول لتلك المشكلة في جعل مركبة الفضاء تدور، مما سيصنع بداخلها جاذبية صناعية. وهذا هو السبب نفسه الذي يجعلك قادرا على تدوير دلو من الماء فوق رأسك دون أن ينسكب منه الماء. غير أن هذا أمر باهظ التكلفة على نحو يجعل تنفيذه مستحيلاً بسبب المعدات الثقيلة اللازمة لتدوير المركبة. فكل رطل من الوزن الزائد يضيف 10000 دولار إلى تكلفة المهمة).

## ماء على القمر

كان أحد العوامل التي غيّرت قواعد اللعبة اكتشاف وجود جليد قديم على القمر، يرجح أنه من بقايا اصطدامات مذنبات قديمة به. وفي عام 2009، ارتطم مسبار ناسا المعروف باسم (قمر مراقبة واستشعار الفوهة القمرية)

lunar crater observation and sensing satellite) المعروف اختصاراً باسم (لكروس) LCROSS) وصاروخ الدفع (سينتور) Centaur الخاص به بمنطقة القطب الجنوبي للقمر. وكان ارتطام المسبار والصاروخ جميعاً بالقمر بسرعة 5600 ميل في الساعة، مما خلف سحابة بارتفاع ميل تقريباً، وحفرة بعرض 60 قدماً تقريباً. ورغم أن مشاهدي التلفزيون شعروا بخيبة الأمل لأن ارتطام المسبار (لكروس) لم يصنع انفجاراً هائلاً كما كان متوقعاً، فقد قدم لنا هذا الانفجار ثروة من البيانات العلمية. إذ عثر على قرابة 24 جالونا من الماء داخل سحابة الركام. وبعد ذلك، صرح العلماء بتصريحاً صادماً عام 2010 قالوا فيه: إن نسبة 5 في المئة من الركام كانت تحتوي على الماء. وهكذا، فقد كان القمر فعلياً أكثر رطوبة من أجزاء من الصحراء الكبرى. وقد يكون هذا مهماً لأنه ربما يعني أن رواد الفضاء في المستقبل يمكنهم حصد تراكمت الجليد الموجود تحت الأرض لاستخدامها كوقود للصواريخ (عن طريق استخلاص الهيدروجين الموجود في الماء)، وفي التنفس (عن طريق استخلاص الأكسجين)، وفي الحماية (لأن الماء يمكنه امتصاص الإشعاعات)، وفي الشرب (بعد تنقيته). وهكذا، فإن هذا الاكتشاف يمكن أن يخفض ميزانية أي مهمة إلى القمر بقيمة مئات الملايين من الدولارات.

كما يعني هذا الاكتشاف أنه ربما يكون بإمكان رواد الفضاء العيش بعيداً عن الأرض، وجني الثلج والمعادن على سطح القمر لإنشاء قاعدة دائمة وتزويدها باحتياجاتها.



## منتصف القرن (من 2030 إلى 2070)

### مهمة إلى المريخ

عندما زار الرئيس أوباما فلوريدا عام 2010 لإعلان إلغاء برنامج القمر، عرض احتمال إرسال مهمة إلى المريخ كبديل. وقد أيد تمويل صاروخ دفع ثقيل غير محدد بعد يمكنه في يوم من الأيام إرسال رواد الفضاء إلى أعماق الفضاء وما وراء القمر. وقال حالما إنه قد يرى ذلك اليوم - ربما في منتصف الثلاثينات من القرن الحالي - الذي يمشي فيه رواد الفضاء على سطح المريخ. وكان بعض رواد الفضاء، مثل باز ألدرين، مؤيدين ومتحمسين لخطة الرئيس أوباما لأنها سوف تتجاهل القمر. لقد أخبرني ألدرين ذات مرة أن الولايات المتحدة قد ذهبت من قبل إلى القمر، ومن ثم فإن المغامرة الحقيقية تكمن في الوصول إلى المريخ.

وتجدر الإشارة إلى أنه من بين جميع كواكب المجموعة الشمسية وحده المريخ الذي يبدو شبيهاً بالأرض بما يكفي لإيواء بعض أشكال الحياة (الأرجح أن كوكب عطارد، الذي تحرق الشمس سطحه، أكثر عدائية من أن يؤوي الحياة التي نعرفها. والكواكب الغازية العملاقة - المشتري، زحل، أورانوس، ونبتون - أكثر برودة من أن تدعم الحياة. وكوكب الزهرة هو توأم للأرض، غير أن ظاهرة شبيهة بالدفيئة صنعت منه حفرة من حفر الجحيم، حيث ترتفع درجات الحرارة على سطحه إلى 900 درجة فهرنهايت، وغلافه الجوي المكون في أغلبه من ثاني أكسيد الكربون أكثر

كثافة من غلاف الأرض بمائة مرة، والأمطار التي تسقط عليه عبارة عن حمض الكبريتيك. فلو سار إنسان على سطح الزهرة، سوف يختنق، ويسحق حتى الموت، وتحترق جثته بفعل الحرارة وتحلل بواسطة حمض الكبريتيك).

من ناحية أخرى، كان المريخ في وقت من الأوقات كوكبا رطبا، مثل الأرض، وكانت به محيطات وأنهار اختفت منذ وقت طويل جدا. وهو اليوم صحراء متجمدة خاوية من الحياة. وربما ازدهر شكل من أشكال الحياة الميكروبية على سطحه منذ مليارات السنين، أو ربما كانت لا تزال تعيش تحت الأرض في ينابيع دافئة.

وبمجرد أن تلتزم الولايات المتحدة التزاما راسخا بالوصول إلى المريخ، فقد يتطلب الأمر ما بين عشرين وثلاثين سنة أخرى لإنجاز تلك المهمة. ويسدو أن الوصول إلى المريخ سيكون أصعب كثيرا جدا من الوصول إلى القمر. فعلى عكس القمر، يمثل المريخ قفزة كمية في الصعوبة. فالأمر يتطلب ثلاثة أيام فقط للوصول إلى القمر، في حين يتطلب من ستة أشهر إلى سنة كاملة للوصول إلى المريخ.

وفي يوليو عام 2009، أجرت (ناسا) دراسة بسيطة على كيفية القيام برحلة واقعية إلى المريخ. فوجدت أنه سوف يستغرق رواد الفضاء ستة أشهر أو أكثر للوصول إليه، ثم يقضون ثمانية عشر شهرا على سطحه، ثم يقضون ستة أشهر أخرى في رحلة العودة.

وإجمالا، سوف يتطلب الأمر إرسال حوالي 1.5 مليون رطل من المعدات إلى المريخ، وهو قدر أكبر من المطلوب لإنشاء محطة الفضاء التي ستتكلف

100 مليار دولار. ومن أجل الاقتصاد في كميات الغذاء والماء، سيكون على رواد الفضاء تنقية فضلاتهم ثم استخدامها في تسميد النباتات خلال الرحلة وأثناء التواجد على سطح المريخ. ففي ظل عدم وجود هواء أو تربة صالحة أو ماء، لا بد من جلب كل هذا من الأرض. وسيكون العيش بعيداً عن الأرض مستحيلًا لأنه ليس هناك أكسجين أو ماء سائل أو حيوانات أو نباتات على سطح المريخ. ويكاد الغلاف الجوي للمريخ يكون من ثاني أكسيد الكربون على نحو خالص، مع ضغط جوي يساوي 1 في المائة فقط من الضغط الجوي للأرض. وسيؤدي وجود أي شق في حلة الفضاء إلى انخفاض الضغط بسرعة كبيرة، ومن ثم الموت.

وسوف تكون المهمة معقدة للغاية بحيث تحتاج إلى تقسيمها إلى عدة خطوات. فلما كان حمل الوقود اللازم لرحلة العودة إلى الأرض باهظ التكلفة، فمن الممكن إرسال صاروخ منفصل إلى المريخ مسبقاً يحمل الوقود الذي سيتم استخدامه في إعادة تزويد مركبة الفضاء التي تحمل رواد الفضاء بالوقود (وإذا أمكن استخلاص ما يكفي من الأكسجين والهيدروجين من الجليد الموجود على سطح المريخ، فمن الممكن استخدامها أيضاً كوقود).

وبمجرد الوصول إلى المريخ، قد يستغرق رواد الفضاء أسابيع عديدة في التكيف على العيش على سطح كوكب آخر. فمع أن دورة الليل والنهار على سطح المريخ متماثلة تقريباً مع دورتهما على الأرض (اليوم على المريخ يساوي 24.6 ساعة أرضية)، فإن السنة هناك تكاد تكون ضعف السنة على الأرض. ودرجة الحرارة على المريخ لا تتعدى أبداً درجة حرارة

انصهار الجليد، والعواصف الترابية عاتية، والرمال ذات كثافة مشابهة لمساحيق التجميل، ومن الشائع أن تهب عواصف ترابية تغطي الكوكب بكامله.

## هل يمكن تغيير بيئة المريخ؟

بافتراض أن رواد الفضاء زاروا المريخ بحلول منتصف القرن وأنشأوا قاعدة مريخية بدائية على سطحه، سيكون هناك احتمال أن يدرس رواد الفضاء إمكانية تغيير بيئة المريخ، بمعنى تحويل سطح القمر لجعله أكثر قابلية لاستضافة الحياة. وسوف يبدأ هذا في وقت متأخر من القرن الحادي والعشرين على أحسن تقدير، والأرجح أن يبدأ في بداية القرن الثاني والعشرين.

وقد درس العلماء العديد من الطرق التي يمكن بها تغيير بيئة المريخ. وربما كانت أكثر الطرق بساطة حقن الغلاف الجوي للكوكب بغاز الميثان أو غيره من الغازات المتسببة في ظاهرة الدفيئة. فلما كان غاز الميثان أكبر قدرة من ثاني أكسيد الكربون في التسبب في ظاهرة الدفيئة، فقد يتمكن هذا الغاز من حبس ضوء الشمس وزيادة درجة حرارة سطح المريخ إلى أعلى من نقطة انصهار الجليد. وبالإضافة إلى غاز الميثان، تمت دراسة عدة غازات أخرى من الغازات المسؤولة عن التسبب في ظاهرة الدفيئة لإجراء تجارب التغيير المحتملة لبيئة الكوكب، مثل الأمونيا والكلوروفلوروكربونات. وبمجرد أن تبدأ درجة الحرارة في الارتفاع، قد تبدأ طبقة الجليد الموجودة تحت الأرض في الذوبان، لأول مرة منذ مليارات السنين. ومع ذوبان

طبقة الجليد الدائمة تلك، سوف تبدأ الأنهار في الامتلاء بالماء. وأخيراً، قد تتشكل البحيرات وحتى المحيطات مرة أخرى على سطح المريخ مع زيادة كثافة الغلاف الجوي. وسوف يؤدي هذا لإطلاق المزيد من غاز ثاني أكسيد الكربون، وتبدأ دورة تغذية عكسية إيجابية.

لقد اكتُشف عام 2009 أن غاز الميثان يهرب على نحو طبيعي من سطح المريخ. وما يزال مصدر هذا الغاز يمثل لغزاً. فعلى الأرض، يأتي معظم غاز الميثان من تحلل المواد العضوية. ولكن على المريخ، قد يكون الميثان منتجاً ثانوياً لبعض العمليات الجيولوجية. وإذا استطعنا تعيين مصدر غاز الميثان على سطح المريخ، فقد يصبح من الممكن زيادة إنتاجه، ومن ثم تغيير الطقس على سطح الكوكب.

وأحد الاحتمالات الأخرى هو التسبب في انحراف مذنب ليدخل جو المريخ. فإذا استطعنا اعتراض مذنب بعيد عن الكوكب بما يكفي، فإن مجرد وكزة صغيرة بواسطة صاروخ، أو تصادم مع مسبار، أو حتى سحبه بواسطة جاذبية سفينة فضاء، قد تكون كافية لجعله ينحرف عن مساره. والمذنبات تتشكل أساساً من الماء المتجمد، وهي تمر بسرعة عبر نظامنا الشمسي على نحو منتظم (يتشكل المذنب هالي<sup>(1)</sup> Halley مثلاً من نواة - تشبه حبة الفول السوداني - بعرض عشرين ميلاً تقريباً، وتتكون من الثلج والصخور في الأساس). ومع اقتراب المذنب تدريجياً من سطح

(1) مذنب هالي Halley: أحد أشهر المذنبات المعروفة، اكتشفه العالم الفلكي البريطاني إدmond هالي سنة 1986، وهو مذنب يزور الأرض مرة كل 76 سنة تقريباً. (المترجم)

المريخ، سوف يواجه مقاومة الغلاف الجوي، مما سيتسبب في تفتته ببطء وإطلاق الماء الذي يحتوي عليه في الغلاف الجوي في صورة بخار. وإذا لم تكن المذنبات متاحة، فقد يكون من الممكن أيضا جعل أحد الأقمار الثلجية للمشتري، أو ربما أحد الكويكبات التي تحتوي على الجليد - مثل كويكب سيريس<sup>(1)</sup> Ceres الذي يُعتقد أن نسبة الماء فيه تبلغ 20 في المئة - تنحرف (وسيكون جعل تلك الأقمار والكويكبات تنحرف أمرا في غاية الصعوبة لأنها عادة ما تدور في مدارات ثابتة). وبدلاً من جعل مذنب أو قمر أو كويكب يتفتت ببطء في مداره حول المريخ مطلقا بخارا مائيا، هناك خيار آخر هو جعلها تصطدم اصطداما محكما بالقمم الثلجية على سطح المريخ. وتتكون المناطق القطبية على سطح المريخ من غاز ثاني أكسيد الكربون المتجمد الذي يختفي خلال أشهر الصيف، والجليد الذي يشكل الجزء الدائم من القمم الجليدية. فإذا ارتطم المذنب أو القمر أو الكويكب بالقمم الجليدية، فيمكن أن ينتج عن هذا التصادم قدر هائل من الحرارة ييخر الجليد الجاف. وحيث إن ثاني أكسيد الكربون هو أحد الغازات المتسببة في ظاهرة الدفيئة، فهذا من شأنه أن يزيد كثافة الغلاف الجوي ويساعد في تسريع عملية الاحتباس الحراري على سطح المريخ. وقد يؤدي أيضا لإيجاد دورة تغذية عكسية إيجابية. وكلما زاد ثاني أكسيد الكربون المنبعث من القمم الجليدية، زاد دفء الكوكب، وهو

(1) كويكب سيريس Ceres: أول ما اكتشف من الكويكبات سنة 1801 على يد العالم الإيطالي بيازي. ويعد أكبر الكويكبات، ويبلغ قطره 1000 كيلو متر تقريبا. (المترجم)

ما سيؤدي بدوره إلى إطلاق المزيد من غاز ثاني أكسيد الكربون. وهناك اقتراح آخر يقضي بقصف القمم الجليدية بالقنابل النووية مباشرة. وموطن الضعف في هذا الاقتراح أن الماء السائل الناتج عن ذلك قد يحتوي دقائق نشطة إشعاعيا. أو يمكن أن نحاول إنشاء مفاعل اندماج يمكنه صهر القمم الجليدية القطبية. وتستخدم محطات الاندماج النووي الماء كوقود أساسي لها، وهناك الكثير من الماء المتجمد على سطح المريخ. وبمجرد أن ترتفع درجة حرارة المريخ إلى درجة حرارة ذوبان الثلج، قد تتشكل بحيرات مائية، ويمكن نقل أنواع معينة من الطحالب التي تزدهر على الأرض في القطب الجنوبي إلى المريخ. وتلك الطحالب يمكن أن تحيا في جو المريخ المكون من 95 في المائة من ثاني أكسيد الكربون. كما يمكن تعديل تلك الطحالب وراثيا لتعظيم قدرتها على النمو على سطح المريخ. وتلك البحيرات المليئة بالطحالب يمكن أن تسرع عملية تغيير بيئة المريخ بعدة طرق. أولا، يمكنها تحويل غاز ثاني أكسيد الكربون إلى أكسجين. ثانيا، سوف تجعل لون سطح المريخ داكنا بحيث يمتص الكوكب المزيد من حرارة الشمس. ثالثا، لما كانت تلك الطحالب تنمو بنفسها دون أي دعم من البيئة الخارجية، فمن الممكن أن تكون وسيلة زهيدة التكلفة نسبيا لتغيير بيئة الكوكب. رابعا، يمكن حصد الطحالب وتناولها كطعام. وأخيرا، سوف تؤدي بحيرات الطحالب تلك إلى إيجاد تربة ومواد مغذية قد تكون مناسبة لزراعة النباتات التي ستسرع بدورها عملية إنتاج الأكسجين. وقد درس العلماء أيضا إمكانية بناء أقمار صناعية شمسية تحيط بالكوكب وتعكس ضوء الشمس عليه. وتلك الأقمار الشمسية ذاتها قد تتمكن من

تسخين سطح المريخ إلى أعلى من درجة التجمد. وبمجرد أن يحدث هذا وتبدأ طبقة الجليد الدائمة في الانصهار، سيستمر الكوكب من تلقاء نفسه في زيادة درجة حرارته على نحو طبيعي.

## هل هناك جدوى اقتصادية؟

لا يجب أن نتوهم أننا سنحقق استفادة اقتصادية فورية مباشرة عن طريق استيطان القمر والمريخ. فعندما أبحر كريستوفر كولومبوس إلى العالم الجديد عام 1492، فتح الباب أمام كنز اقتصادي تاريخي غير متوقع. وسرعان ما كان الغزاة يرسلون كميات ضخمة من الذهب الذي سلبوه من سكان أمريكا الأصليين، وسرعان ما راح المستوطنون يرسلون مواد خاما ومحاصيل ذات قيمة كبيرة إلى العالم القديم. وقد تم تعويض تكلفة إرسال البعثات الاستكشافية إلى العالم الجديد أضعافا مضاعفة من خلال الثروات الخرافية التي تم جنيها.

ولكن إقامة المستوطنات على سطح القمر أو المريخ أمر مختلف تماما، فليس هناك هواء أو ماء سائل أو تربة خصبة، لذا سيكون لزاما علينا جلب كل شيء من الأرض بواسطة مركبات صاروخية، وهو أمر مكلف على نحو يتعذر معه إنجازه.

علاوة على ذلك، ليست هناك قيمة عسكرية كبيرة لاستيطان القمر، على المدى القريب على الأقل. ويرجع هذا إلى أن السفر إلى القمر من الأرض يستغرق في المتوسط ثلاثة أيام، والعكس صحيح. ولكن من الممكن خوض حرب نووية في غضون تسعين دقيقة بواسطة الصواريخ



بالبستية العابرة للقارات. ولن يكون وضع أسلحة فضائية على سطح القمر مجدياً لأن تلك الأسلحة لن تستطيع دخول المعركة على الأرض في الوقت المناسب لكي تحدث farkاً في نتيجة الحرب. لذا، فإن وزارة الدفاع الأمريكية (البنتاجون) لم تُقدم على تمويل أي برامج عسكرية لتزويد القمر بالأسلحة.

ويعني هذا أننا إذا بدأنا عمليات تنجيم واسعة النطاق في عوالم أخرى، فسيكون هذا لصالح المستوطنات الفضائية، وليس في صالح الأرض مباشرة. فسوف يستخرج المستوطنون المعادن والأموال لاستخدامهم (الشخصي) فقط لأن نقلها إلى الأرض سيكون باهظ التكلفة. وستصبح عمليات التنجيم في حزام الكويكبات اقتصادية فقط عندما تكون لدينا مستوطنات قادرة على دعم نفسها ويمكنها استخدام تلك المواد الخام بنفسها، وهو ما لن يحدث حتى وقت متأخر من هذا القرن، أو بعد ذلك على الأرجح.

## السياحة الفضائية

ولكن متى يستطيع المواطن المدني العادي الذهاب إلى الفضاء؟ بعض الحالمين، مثل الراحل جيرارد أونيل Gerard O'Neill من جامعة برينستون Princeton University، حلموا بإنشاء مستوطنة فضائية تضم وحدات معيشة، ومصانع لتنقية الماء، ووحدات لإعادة تدوير الهواء، وما إلى ذلك، من أجل حل مشكلة زيادة التلوث على الأرض. ولكن في القرن الحادي والعشرين، تبدو فكرة أن المستوطنات الفضائية يمكن أن تخفف

مشكلة التلوث فكرة مبالغ فيها على أحسن تقدير. فبالنسبة لغالبية الجنس البشري، ستظل الأرض موطننا الوحيد لقرن كامل قادم على الأقل. غير أن هناك طريقة واحدة يستطيع بها الفرد العادي الذهاب إلى الفضاء بشكل واقعي، ألا وهي: أن يذهب بوصفه سائحا. ويعتقد بعض أصحاب الشركات الذين ينتقدون البيروقراطية والإسراف الشديد لوكالة الفضاء ناسا أنهم يستطيعون تقليل تكلفة السفر إلى الفضاء باستخدام قوى السوق. وقد فاز بيرت روتان Burt Rutan ومستثمروه بجائزة (أنساري إكس برايز)<sup>(1)</sup> Ansari X Prize، وقيمتها 10 ملايين دولار، في الرابع من أكتوبر عام 2004. وذلك بسبب إطلاق سفينة الفضاء التي تحمل اسم (سبيس شيب وان) SpaceShipOne مرتين خلال أسبوعين لمسافة أكبر من 62 ميلا فوق سطح الأرض. وتعد سفينة الفضاء تلك أول مركبة فضاء صاروخية تكمل بنجاح مشروعا تجاريا ممولاً بشكل مستقل وتنطلق بالفعل في الفضاء. وبلغت تكاليف تطوير وبناء المركبة نحو 25 مليون دولار. وقد ساهم الملياردير بول آلين Paul Allen، أحد مؤسسي شركة مايكروسوفت Microsoft، في تمويل المشروع.

والآن، ومع مركبة الفضاء (سبيس شيب تو) SpaceShipTwo، يتوقع روتان بدء الاختبارات لجعل الرحلات الفضائية التجارية واقعا حقيقيا. وقد أسس الملياردير ريتشارد برانسون Richard Branson من شركة

(1) أنساري إكس برايز Ansari X Prize: مسابقة فضائية تقدم فيها مؤسسة إكس برايز X Prize Foundation جائزة بقيمة 10 ملايين دولار لأول مؤسسة غير حكومية تطلق في الفضاء مركبة فضاء بقيادة بشرية مرتين خلال أسبوعين. (المترجم)

الخطوط الجوية فيرجين أتلانتيك Virgin Atlantic شركة باسم فيرجين جالكتيك Virgin Galactic. بميناء فضائي في نيو مكسيكو. وهناك قائمة طويلة من الأشخاص المستعدين لإنفاق 200000 دولار لتحقيق حلم الطيران في الفضاء. وقد طلبت شركة فيرجين جالكتيك، التي ستكون أول شركة كبرى تعرض رحلات طيران فضائية على نطاق تجاري، خمسة صواريخ من طراز (سبيس شيب تو) فعليا. وإذا نجحت المبادرة، فإن هذا قد يقلل من تكاليف السفر إلى الفضاء إلى العُشر.

وتستخدم مركبة الفضاء (سبيس شيب تو) طرقا عديدة لتخفيض النفقات. فبدلا من صواريخ الدفع الضخمة المستخدمة لنقل الحمولة إلى الفضاء، يضع روتان مركبته الفضائية فوق قمة طائرة، وبذلك تكون محمولة على متن طائرة عادية. وبهذه الطريقة، تستخدم المركبة الأكسجين الموجود في الجو للوصول إلى ارتفاعات عالية. وبعد ذلك، وعلى ارتفاع نحو 10 أميال فوق سطح الأرض، تنفصل المركبة الفضائية عن الطائرة وتشغل محركاتها الصاروخية. ومع أن مركبة الفضاء تلك لا تستطيع اتخاذ مدار لها حول الأرض، فإنها تحتوي على وقود كافٍ للوصول إلى ارتفاع يبلغ 70 ميلا تقريبا فوق سطح الأرض، وفوق الجزء الأكبر من الغلاف الجوي. وهكذا، يستطيع المسافرون على متنها رؤية لون السماء يتحول إلى الأرجواني ثم الأسود. ومحركات تلك المركبة قوية بما يكفي للوصول إلى ثلاثة أضعاف سرعة الصوت (2200 ميل في الساعة تقريبا). وتلك السرعة غير كافية بالطبع لوضع صاروخ في مدار حول الأرض (فالسرعة المطلوبة لذلك هي 18000 ميل في الساعة)، ولكنها سرعة كافية للوصول

إلى حافة الغلاف الجوي وعتبة الفضاء الخارجي. وفي المستقبل القريب، ربما تصبح تكلفة رحلة في الفضاء الخارجي مساوية لتكلفة رحلة سفاري في أفريقيا.

(غير أن المرء سيحتاج لدفع مبلغ أكبر كثيرا جدا للدوران دورة كاملة حول الأرض في رحلة على متن محطة فضائية. وقد سألت ذات مرة الملياردير تشارلز سيموني Charles Simonyi من شركة مايكروسوفت كم كلفه الأمر ليحصل على تذكرة إلى محطة الفضاء. وكانت تقارير إعلامية قد قدرت التكلفة بـ 20 مليون دولار. لكنه رفض تحديد التكلفة بدقة، وأخبرني أن التقارير الإعلامية لم تتعد كثيرا عن الرقم الصحيح. ولقد قضى وقتنا ممتعا في الفضاء لدرجة أنه فعل ذلك مرتين. لذا، فإن السفر إلى الفضاء، حتى في المستقبل القريب، سيظل عالما مقصورا على الأثرياء فقط).

غير أن السياحة الفضائية حصلت على دعم جيد في سبتمبر من عام 2010، عندما أعلنت شركة بوينج Boeing Corporation أنها ستدخل المجال هي الأخرى بتنظيم رحلات تجارية للسياح من المخطط أن تبدأ في وقت قريب بحلول عام 2015. وسوف يدعم هذا قرار الرئيس أوباما إحالة برنامج رحلات الفضاء البشرية إلى الشركات الخاصة. وتدعو خطة شركة بوينج لإجراء عمليات الانطلاق إلى المحطة الفضائية الدولية International Space Station من قاعدة كيب كانافيرال Cape Canaveral في فلوريدا، على أن تضم كل رحلة أربعة من أفراد الطاقم، وهو ما سيترك ثلاثة مقاعد خالية للسياح الفضائيين. غير أن شركة بوينج

كانت صارمة فيما يتعلق بتمويل الرحلات الخاصة إلى الفضاء، فسيكون على دافعي الضرائب سداد معظم قيمة الفاتورة. يقول جون إلبون John Elbon، وهو مدير برامج ضمن الفريق التجاري لبوينج: (هذه سوق غامضة. فلو اضطررنا لفعل هذا باستثمارات بوينج وحدها وكانت هناك عوامل مخاطرة كامنة، فلن نستطيع إغلاق ملف تقديرات التكاليف والإيرادات المستقبلية المتوقعة).

## بطاقات رابحة

لقد أعادت التكلفة الهائلة للسفر في الفضاء التقدم التجاري والعلمي معاً، لذا فإننا بحاجة لتصميم ثوري جديد. وبحلول منتصف القرن، سيتقن العلماء والمهندسون تقنيات جديدة لصواريخ الدفع من أجل تقليل تكلفة السفر إلى الفضاء.

ولقد حدد عالم الفيزياء فريمان ديسون Freeman Dyson بعض التقنيات التجريبية التي يمكن في يوم من الأيام أن تفتح السماء أمام الأفراد العاديين. وهذه التقنيات المقترحة جميعها عالية مستوى المخاطرة، ولكنها يمكن أن تقلل التكلفة بشكل هائل. والتقنية الأولى هي محرك الدفع الليزري laser propulsion engine الذي يطلق شعاع ليزر عالي القدرة على قاع الصاروخ، مما يتسبب في انفجار صغير تؤدي الموجة التصادمية الناتجة عنه لإطلاق الصاروخ لأعلى. ويؤدي تيار مستمر من الانفجارات الليزرية السريعة إلى تبخر الماء على نحو يدفع بالصاروخ إلى الفضاء. وتكمن الميزة الكبرى لنظام الدفع الليزري في أن الطاقة اللازمة تستمد من نظام

موجود على الأرض. وهكذا، لا يحمل الصاروخ أي وقود على الإطلاق (الصواريخ الكيميائية، على النقيض من ذلك، تهدر قدرا كبيرا من طاقتها في رفع وزن وقودها إلى الفضاء).

وقد ثبت بالفعل نجاح تقنية جهاز الدفع الليزري، وتم تنفيذ أول اختبار ناجح لأحد النماذج عام 1997. وقد صمم ليك مايرابو Leik Myrabo من معهد رينسيلار بوليتكنيك Rensselaer Polytechnic Institute في نيويورك نموذجا أوليا قابلا للتشغيل من هذا الصاروخ، وهو يسميه (نموذج تكنولوجيا المركبات الخفيفة). وكان أحد التصميمات المبكرة يبلغ قطره ست بوصات ووزنه أوقيتين. فقد ولدت 10 كيلو واط من الليزر سلسلة من الانفجارات الليزرية عند قاع الصاروخ، وصنعت صوتا شبيها بصوت المدفع الرشاش عندما دفعت طلقات الليزر الصاروخ بمعدل تسارع يعادل ضعف معدل تسارع الجاذبية الأرضية. لقد استطاع بناء صواريخ خفيفة ارتفعت لأكثر من 100 قدم في الهواء (وهذا يضاهي الصواريخ القديمة التي تعمل بالوقود السائل والتي اخترعها روبرت جودارد Robert Goddard في ثلاثينات القرن العشرين).

ويحلم ديسون باليوم الذي تستطيع فيه أجهزة الدفع الليزري نقل حمولات ثقيلة إلى مدار الأرض مقابل 5 دولارات فقط لكل رطل، وهو الحلم الذي سيكون تحقيقه بمثابة ثورة حقيقية في مجال السفر إلى الفضاء. ويتخيل ديسون جهاز ليزر عملاقا بقوة 1000 ميغاوات يمكنه دفع صاروخ وزنه طنين إلى مداره حول الأرض (وهذا القدر من الطاقة يساوي الطاقة التي تولدها محطات الطاقة النووية التقليدية). ويتكون

الصاروخ من الحمولة، وخزان ماء في القاع يسرب الماء ببطء عبر مسام صغيرة للغاية. وتزن كل من الحمولة وخزان الماء طناً واحداً. وعندما يضرب شعاع الليزر قاع الصاروخ، يتبخّر الماء على الفور منشئاً مجموعة متتابة من موجات التصادم التي تدفع الصاروخ نحو الفضاء. ويكتسب الصاروخ معدل تسارع يساوي ثلاثة أضعاف الجاذبية الأرضية ويتحرر من قبضة الجاذبية الأرضية في غضون ست دقائق.

ولأن الصاروخ لا يحمل أي وقود، فليس هناك خطر وقوع انفجار كارثي به. يذكر أن الصواريخ الكيميائية، حتى بعد خمسين عاماً من دخول عصر الفضاء، لا تزال تعاني من معدل فشل بنسبة 1 في المئة. وتلك الإخفاقات عادة ما تكون هائلة، حيث يصنع وقود الأكسجين والهيدروجين المتطاير كرات نار وحطاماً متساقطاً يغطي موقع الإطلاق كله. في حين أن هذا النظام، على النقيض، بسيط وآمن ويمكن استخدامه على نحو متكرر بوقت توقف قصير للغاية، وباستخدام الماء والليزر فقط. علاوة على ذلك، فإن النظام سيغطي نفقاته بنفسه في نهاية الأمر. فإذا استطاع النظام إطلاق نصف مليون طائرة فضائية سنوياً، فإن تلك الرحلات يمكن بسهولة أن تغطي تكاليف التشغيل وكذلك تكاليف التطوير. إلا أن ديسون يدرك أن هذا الحلم لن يتحقق قبل عقود عديدة. والبحوث الرئيسة على أجهزة الليزر تلك تتطلب تمويلاً يتجاوز كثيراً ما قد يكون متاحاً للجامعات. وما لم تحظ البحوث بدعم الحكومة أو شركة كبرى، فإن جهاز الدفع الليزري لن يرى النور أبداً.

وهنا يمكن أن تكون جائزة (إكس برايز) مفيدة. وقد تحدثت ذات مرة

مع بيتر ديامانديس Peter Diamandis الذي ابتكر هذه الجائزة عام 1996، وكان يدرك تماماً قيود الصواريخ الكيميائية. بل إنه اعترف لي أنه حتى المركبة (سبيس شيب تو) واجهت مشكلة كون الصواريخ الكيميائية وسيلة باهظة التكلفة للفرار من قبضة الجاذبية الأرضية. ونتيجة لذلك فإن جائزة (إكس برايز) مستقبلية ستمنح للشخص الذي يستطيع إنشاء صاروخ يندفع بواسطة شعاع من الطاقة (ولكن بدلاً من استخدام شعاع ليزر، سوف يستخدم مصدراً مشابهاً للطاقة الكهرومغناطيسية، أي شعاع موجات فائقة الصغر). وقد تكون شهرة جائزة إكس برايز وإغراء الفوز بجائزة قيمتها عدة ملايين من الدولارات كافيين لإثارة اهتمام رجال الأعمال المغامرين والمخترعين لابتكار صواريخ غير كيميائية، كصاروخ الموجات فائقة الصغر.

وهناك تصميمات صاروخية تجريبية أخرى، ولكنها تنطوي على مخاطر مختلفة. وأحد الاحتمالات المطروحة هو ما يسمى (مدفع الغاز) gas gun الذي يطلق قذائف من مدفع كبير شبيه إلى حد ما بالصاروخ الذي نجده في رواية جولز فيرني Jules Verne التي تحمل اسم (من الأرض إلى القمر) From the Earth to the Moon. غير أن صاروخ فيرني ما كان ليطير أبداً لأن البارود لا يمكنه بأي حال إطلاق قذيفة بسرعة 25000 ميل في الساعة، وهي العجلة المطلوبة للخروج من قبضة الجاذبية الأرضية. وعلى النقيض، فإن مدفع الغاز يستخدم غازاً عالي الضغط في أنبوب طويل لإطلاق القذائف بسرعات عالية. وقد طور الراحل أبراهام هيرتزبيرج Abraham Hertzberg في جامعة واشنطن University of Washington في سياتل



نموذجا أوليا لمدفع قطره أربع بوصات وطوله ثلاثين قدما. والغاز الموجود داخل المدفع هو خليط من الميثان والهواء المضغوط إلى خمسة وعشرين ضعف الضغط الجوي. وعند اشتعال الغاز، تندفع الحمولة للأمام بفعل الانفجار بمعدل تسارع يساوي 30000 قوة الجاذبية، وهو تسارع يمكن أن يدمر معظم الأشياء المعدنية.

وأثبت هيرتزيرج أن مدفع الغاز يمكن أن يعمل بنجاح. ولكن لإطلاق حمولة ثقيلة إلى الفضاء الخارجي، لابد أن يكون الأنبوب أكبر كثيرا، بطول حوالي 750 قدما، ولا بد أن يستخدم غازات مختلفة عبر مساره. ويجب استخدام ما يصل إلى خمس مراحل مختلفة مع استخدام غازات مختلفة لدفع الحمولة للهروب من مجال الجاذبية الأرضية.

وقد تكون تكلفة عمليات الإطلاق بواسطة مدفع الغاز أقل حتى من تكلفة جهاز الدفع الليزري. ولكن هناك خطورة بالغة في إطلاق البشر بهذه الطريقة، ووحدها الحمولات الصلبة التي يمكنها احتمال معدل التسارع الهائل هي التي سيتم إطلاقها.

وهناك تصميم تجريبي ثالث يسمى (سلينجاترون) slingatron، وهو يقوم بتدوير الحمولة في دائرة ثم يقذف بها في الهواء، وكأنه كرة مربوطة بخيط.

وقد صمم ديريك تيدمان Derek Tidman نموذجا أوليا، إذ صنع نموذجا مصغرا يمكنه قذف عنصر بسرعة تصل إلى 300 قدم في الثانية خلال بضعة ثوانٍ. ويتكون السلينجاترون من أنبوب على شكل حبة فول سوداني بقطر ثلاثة أقدام. وفتحة الأنبوب نفسها قطرها بوصة واحدة وتحتوي

على كرة صغيرة من الصلب. ومع دوران الكرة حول الأنبوب، تعمل محركات صغيرة على دفع الكرة لتحرك بسرعة متزايدة.

ويجب أن يكون السلينجاترون الحقيقي الذي يمكنه تدوير حمولة ثقيلة وقذفها في الفضاء الخارجي أكبر بكثير جداً من ذلك، بقطر يبلغ مئات أو آلاف الأقدام، ويجب أن يكون قادراً على ضخ الطاقة إلى الكرة إلى أن تصل لسرعة 7 أميال في الثانية. وسوف تنفصل الكرة عن الجهاز بمعدل تسارع يبلغ 1000 ضعف عجلة الجاذبية الأرضية، وهي سرعة كافية أيضاً لتدمير معظم المواد الصلبة. وهناك العديد من المسائل الفنية التي يجب حلها، وأهمها مسألة الاحتكاك بين الكرة والأنبوب التي ينبغي أن تكون في أدنى المستويات.

وسوف تحتاج جميع هذه التصميمات الثلاثة لعقود من الزمن ليتم صنعها بإتقان، ولكن لن يحدث هذا إلا إذا تم توفير الاعتمادات المالية اللازمة من جانب الحكومة أو الشركات الخاصة. وبخلاف ذلك، ستظل تلك النماذج الأولية مجرد مخططات غير قابلة للتنفيذ.

## المستقبل البعيد (من 2070 إلى 2100)

### مصعد الفضاء

بحلول نهاية هذا القرن، قد تتمكن تكنولوجيا النانو من جعل مصعد الفضاء space elevator الخرافي ممكناً. وكما في حكاية جاك وساق الفاصوليا العملاقة، قد يمكننا في وقت من الأوقات أن نتسلق وصولاً إلى السحاب وما بعده. سوف ندخل مصعداً، ونضغط على زر الصعود، ومن ثم نصعد لأعلى عبر أنبوب نانوي كربوني carbon nanotube طوله آلاف الأميال. ويمكن أن يؤدي هذا إلى قلب اقتصادات السفر إلى الفضاء رأساً على عقب.

في عام 1895، ألهم بناء برج إيفل Eiffel Tower عالم الفيزياء الروسي كونستانتين تسيولكوفسكي Konstantin Tsiolkovsky، إذ كان أطول بناء من نوعه في العالم برمته. فقد طرح العالم نفسه سؤالاً بسيطاً مفاده: لم لا يمكننا بناء برج إيفل يوصلنا إلى الفضاء الخارجي؟ ووفق حساباته، إذا كان هذا البرج طويلاً بما يكفي، فإنه لن يسقط أبداً، إذ ستبقيه قوانين الفيزياء قائماً؛ وأسماء (البرج السماوي).

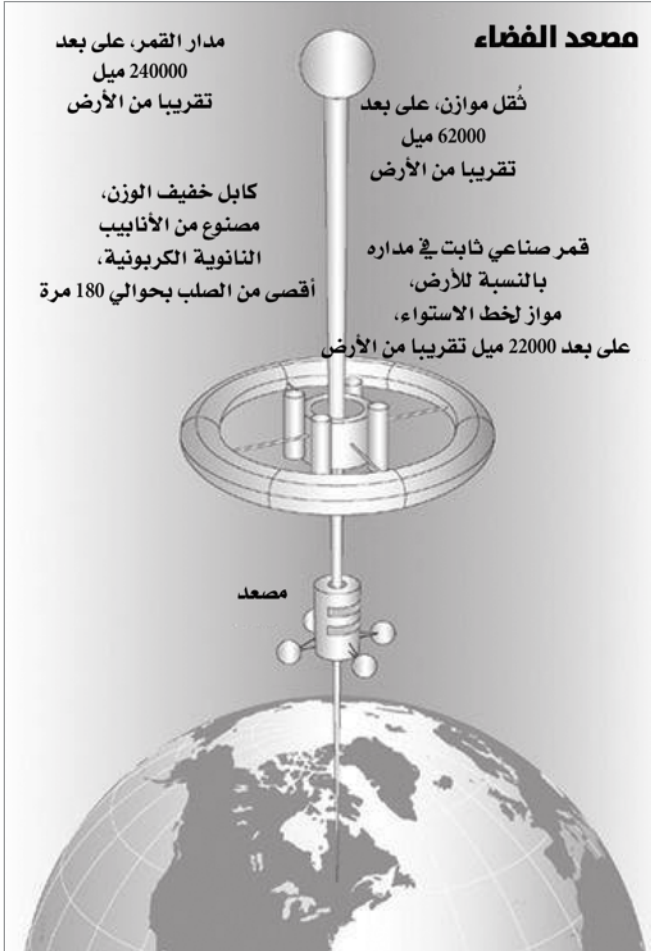
فكر في كرة مربوطة بخيط. عندما تمسك الخيط وتدور الكرة، تكون قوة الطرد المركزية كافية لمنع الكرة من السقوط. وبالمثل، إذا كان كابل ما طويلاً بما يكفي، فإن قوة الطرد المركزي سوف تمنعه من السقوط على الأرض. سيكون دوران الأرض كافياً لإبقاء الحبل في السماء. وبمجرد مد هذا الكابل إلى السماء، يمكن لأي شاحنة يتم تركيبها على الحبل أن تصعد إلى الفضاء. ونظرياً، تبدو تلك الحيلة ناجحة، ولكن مع الأسف عند استخدام قوانين

الحركة التي وضعها نيوتن لحساب مدى الشد في الكابل، سنجد أنها أكبر من قوة الشد التي يمكن أن يحتملها الصلب: سوف ينقطع الكابل على نحو يجعل فكرة مصعد الفضاء مستحيلة.

وعلى مر العقود، تم إحياء فكرة مصعد الفضاء على فترات منتظمة، ثم تم رفضها في كل مرة للسبب ذاته. وفي عام 1957، اقترح العالم الروسي يوري أرتسوتانوف Yuri Artsutanov تعديلاً على الفكرة يتمثل في أن يتم بناء مصعد الفضاء من أعلى إلى أسفل، بدلاً من بنائه من أسفل إلى أعلى؛ ويعني هذا أن يتم إرسال سفينة فضاء أولاً إلى مدار حول الأرض، ثم يهبط منها كابل إلى الأرض ويتم إرساله عليها. كما أن مؤلفي الخيال العلمي نشروا فكرة مصعد الفضاء في روايات مثل رواية آرثر سي. كلارك Arthur C. Clarke المنشورة عام 1979 بعنوان (ينابيع الجنة) The Fountains of Paradise، ورواية روبرت هينلين Robert Heinlein عام 1982 بعنوان (فريدا) Frida. وقد ساعدت الأنابيب النانوية الكربونية في إحياء الفكرة من جديد. فتللك الأنابيب النانوية، كما رأينا من قبل، تتسم بقدرة أكبر من أي مادة أخرى على تحمل الشد. إنها أقوى من الصلب، وهي قوية بما يكفي لتحمل الشد اللازم لبناء مصعد الفضاء.

غير أن المشكلة تكمن في صنع كابل أنبوب نانوي كربوني خالص بطول 50000 ميل. وهذا يمثل عقبة كبيرة لأن العلماء لم يتمكنوا حتى الآن من صنع كابل من الأنابيب النانوية الكربونية الخالصة سوى بطول بلغ بضعة سنتيمترات قليلة. ومن الممكن دمج مليارات من جدائل الأنابيب النانوية الكربونية لصنع ألواح وكابلات، ولكن ألياف الأنابيب النانوية الكربونية تلك ليست نقية،

فهي ألياف تم ضغطها ونسجها معا. ويمكن التحدي في صنع أنبوب نانوي كربوني توجد كل ذرة من الكربون فيه في موضعها الصحيح.



قد يؤدي مصعد الفضاء الممتد إلى السماء ذات يوم إلى تقليل تكاليف السفر إلى الفضاء بشكل هائل. وقد تكون تقنية النانو تكنولوجي الأساس الذي يعتمد عليه بناء هذا المصعد.

وفي عام 2009، أعلن العلماء في جامعة رايس Rice University أنهم أحرزوا تقدماً كبيراً. إن الألياف التي استخدموها ليست نقية وإنما مركبة (أي أنها ليست مناسبة لصنع مصعد الفضاء)، لكن طريقتهم بارعة بما يكفي لصنع أنابيب نانوية كربونية بأي طول. لقد اكتشفوا - بالتجربة والخطأ - أن تلك الأنابيب النانوية الكربونية يمكن تدويرها في محلول من حمض الكلوروسلفونيك، ثم تفريغها من صنبور شبيه بال دش. وهذه الطريقة يمكن أن تنتج ألياف أنابيب نانوية كربونية بسمك 50 ميكرومترًا وبطول مئات الأمتار.

وسيكون أحد الاستخدامات التجارية لتلك الألياف هو خطوط الطاقة الكهربائية لأن الأنابيب النانوية الكربونية توصل الكهرباء أفضل من النحاس، وهي أخف وزناً وأقل عرضة للتلف. يقول ماتيو باسكالي Matteo Pasquali، أستاذ الهندسة بجامعة رايس: (نحتاج لصنع أطنان من تلك الأنابيب، إذا أردنا استخدامها كخطوط لنقل الطاقة، وما من سبيل لتحقيق هذا الآن. إننا نحتاج لمعجزة).

ورغم أن هذه الكابلات ليست نقية بما يكفي لتكون أهلاً للاستخدام في صنع مصعد الفضاء، فإن هذه الدراسة تومئ إلى اليوم الذي سنتمكن فيه من صنع جدائل نقية من الأنابيب النانوية الكربونية القوية بما يكفي لرفعنا إلى الفضاء.

وبافتراض أننا تمكنا في المستقبل من صنع جدائل من الأنابيب النانوية الكربونية، فستظل هناك مشكلات عملية. فمثلاً، سوف يمتد الكابل إلى ما هو أبعد كثيراً من مدار معظم الأقمار الصناعية، وهو ما يعني أن مدارات

تلك الأقمار - بعد عدة دورات حول الأرض - سوف تتقاطع أخيراً مع مصعد الفضاء، مما سيسبب التصادم. ولما كانت الأقمار الصناعية تتحرك بسرعة 18000 ميل في الساعة، فإن التصادم قد يكون كارثياً. ويعني هذا أنه ينبغي تزويد المصعد بصواريخ خاصة لتحريك الكابل بعيداً عن مسار الأقمار الصناعية.

وتكمن مشكلة أخرى في مظاهر الطقس الهائج، كالأعاصير والبرق والعواصف والرياح القوية. فلا بد أن يكون مصعد الفضاء مثبتاً بالأرض، ربما على متن حاملة طائرات أو منصة بترول في المحيط الهادي، ولكن يجب أيضاً أن يكون مرناً لتجنب تلفه بفعل قوى الطبيعة العاتية.

ولابد أيضاً من وجود زر استغاثة أو مخرج نجاة في حال انقطاع الكابل. فإذا تسبب أي شيء في انقطاع الكابل، لابد أن تتمكن شاحنة المصعد من الانزلاق أو الهبوط بمظلة إلى سطح الأرض بأمان لإنقاذ المسافرين.

ولتشجيع الأبحاث في مجال مصاعد الفضاء، رعت ناسا عدة مسابقات. إذ يتم منح جوائز بقيمة إجمالية تبلغ مليوني دولار من خلال برنامج (ألعاب مصاعد الفضاء) Space Elevator Games التابع لناسا. ووفقاً للقواعد التي وضعتها (ناسا)، فإنه يتعين على المتسابقين صنع جهاز لا يزيد وزنه على 50 كيلوجراماً، ويمكنه الصعود على حبل بسرعة 2 متر في الثانية لمسافة 1 كيلومتر للفوز في (تحدي قوة الأشعة) Beam Power Challenge. وما يجعل هذا التحدي في غاية الصعوبة أن الجهاز يجب أن يعمل من دون وقود أو بطاريات أو كابل كهربائي، إذ لابد أن يستمد الجهاز طاقته في صورة أشعة قادمة من الخارج.

وقد حظيت بفرصة رؤية حماس و طاقة المهندسين الذين يعملون على بناء مصعد الفضاء، ويحلمون بالفوز بالجائزة، بنفسى. فقد ركب الطائرة إلى سياتل لمقابلة مهندسين شبان مغامرين ضمن مجموعة تسمى (محرك الليزر) LaserMotive. لقد سمعوا عن الدعوة المغربية لمسابقة (ناسا)، وبدءوا في إنشاء نماذج أولية قد تؤدى ذات يوم لبناء وتنشيط مصعد الفضاء.

دخلت إلى مخزن كبير استأجروه لاختبار أفكارهم فيه. وفي أحد جوانب المخزن، رأيت جهاز ليزر قويا قادرا على إطلاق شعاع مكثف من الطاقة. وفي الجانب الآخر من المخزن، رأيت مصعد الفضاء الذي بنوه. لقد كان عبارة عن صندوق بعرض ثلاثة أقدام تقريبا، وبه مرآة كبيرة. والمفترض أن يرتطم شعاع الليزر بالمرآة، ومن ثم ينعكس على مجموعة من الخلايا الشمسية التي ستعمل على تحويل طاقة الليزر إلى كهرباء؛ وسيؤدي هذا لتشغيل محرك، ومن ثم تبدأ السيارة المصعدية في الارتفاع تدريجيا على كابل قصير. وبهذه الطريقة، لن تكون هناك حاجة لكابلات كهربائية تتدلى من مصعد الفضاء لتوفير الطاقة التي يحتاجها. وكل المطلوب إطلاق أشعة الليزر على المصعد من الأرض، وحينها سيرتفع المصعد على السلك من تلقاء نفسه.

وقد كانت أشعة الليزر في غاية القوة، لذا كان علينا جميعا أن نضع نظارات وقاية خاصة لحماية أعيننا. وتطلب الأمر جولات تجريبية عديدة، ولكنهم تمكنوا أخيرا من إطلاق شعاع الليزر وجعل الجهاز يتسلق صاعدا على الكابل. وهكذا، تم حل إحدى صعوبات مصعد الفضاء، على الأقل نظريا.



وفي البداية، كانت المهمة في غاية الصعوبة لدرجة أن أحدا لم يفز بالجائزة. ولكن في عام 2009، استحق فريق (محرك الليزر) الجائزة. وقد جرت المسابقة في قاعدة إدواردز للقوات الجوية Edwards Air Force Base في صحراء موهافي بولاية كاليفورنيا. حيث عبرت طائرة مروحية فوق الصحراء وهي تحمل كابلاً طويلاً، واستطاع الفريق جعل المصعد يرتفع على الكابل أربع مرات خلال يومين، وكان أفضل وقت تحقق هو 3 دقائق و48 ثانية. وهكذا، فإن جميع الجهود الشاقة التي رأيت هؤلاء المهندسين الشبان وهم يبذلونها قد أتت ثمارها في النهاية.

## مركبات تصل إلى النجوم

بحلول نهاية القرن، وبرغم العقبات الحالية في تمويل مهام الفضاء البشرية، سيقم العلماء قواعد على سطح المريخ، وربما على حزام الكويكبات. وبعد ذلك، سيسلطون بصرهم على أحد النجوم. ومع أن إرسال مسبار نجمي أمر أبعد بكثير جداً من قدراتنا في الوقت الحالي، ففي غضون 100 عام قد يصبح واقعاً.

ويكمن التحدي الأول في العثور على نظام دفع جديد. فبالنسبة لصاروخ كيميائي تقليدي من تلك التي نعرفها اليوم، سوف يتطلب الأمر 70000 سنة للوصول إلى أقرب نجم. فعلى سبيل المثال، حققت مركبات الفضاء (فوياجير) التي أطلقت عام 1977 رقماً قياسياً عالمياً للأشياء التي تم إرسالها إلى الفضاء السحيق. لقد قطعت تلك المركبات حالياً 10 مليارات ميل في الفضاء، ولكن هذا جزء صغير جداً من المسافة إلى النجوم.

وقد تم اقتراح العديد من التصميمات وأنظمة الدفع لإنشاء مركبة قادرة على الوصول إلى النجوم، ومنها:

- الشراع الشمسي
- الصاروخ النووي
- صاروخ الاندماج النفاث
- سفن النانو

لقد واثنتي فرصة مقابلة أحد الحالمين بالشراع الشمسي، عندما زرت محطة (بلام برووك ستیشن) Plum Brook Station في كليفلاند بولاية أوهايو. وهناك، بنى المهندسون أكبر غرفة مفرغة من الهواء لاختبار الأقمار الصناعية الفضائية. وكانت تلك الغرفة كبيرة بحق؛ فهي بعرض 100 قدم وطول 122 قدماً، وهي ضخمة بما يكفي لاحتواء مباني سكنية متعددة الطوابق، وكبيرة بما يكفي لاختبار أجزاء من الأقمار والصواريخ في فراغ شبيه بفراغ الفضاء. وعندما دخلت الغرفة، جفلت لضخامة المشروع. بيد أنني شعرت بالتميز لأنني أسير في الغرفة عينها التي تم فيها اختبار العديد من الأقمار والمستكشفات والصواريخ الأمريكية.

وهناك، التقيت واحداً من المتحمسين الرواد للشراع الشمسي، وهو عالم من وكالة (ناسا) يدعى ليس جونسون Les Johnson. وقد أخبرني أنه منذ كان طفلاً يقرأ روايات الخيال العلمي حلم بصنع صواريخ يمكنها الوصول إلى النجوم. بل إن جونسون هو نفسه من كتب المرجع الأساسي حول الأشعة الشمسية. وعلى الرغم من أنه يعتقد إمكانية بناء تلك الأشعة في غضون بضعة عقود قليلة، فإنه استسلم لحقيقة أنه لا يمكن

بناء مركبة يمكنها الوصول فعليا إلى النجوم إلا بعد وقت طويل من وفاته. وكحال البنائين الذين بنوا الكاتدرائيات الكبرى في العصور الوسطى، يدرك جونسون أن الأمر قد يتطلب عمر عدة أجيال من البشر قبل بناء مركبة يمكنها الوصول إلى النجوم.

ويستفيد الشراع الشمسي من حقيقة أنه رغم أن الضوء لا كتلة له، فإن له كمية تحرك وقوة دفع، وبالتالي فمن الممكن أن يمارس الضغط. ومع أن ضغط الضوء المنبعث من الشمس في غاية الضآلة، وأقل من أن نشعر به على أجسادنا، فإنه كاف لدفع سفينة نجمية إذا كان شراعها كبيرا بما يكفي، وإذا انتظرنا لوقت طويل بما يكفي (قوة ضوء الشمس في الفضاء أكبر منها على الأرض بثمانى مرات).

وقد أخبرني جونسون أن هدفه إنشاء شراع شمسي عملاق مصنوع من البلاستيك الرقيق للغاية، ولكنه مرن وقوي. وسيكون عرض الشراع عدة أميال، وسيتم بناؤه في الفضاء الخارجي. وبمجرد تجميع الشراع، سوف يدور ببطء حول الشمس مكتسبا المزيد والمزيد من القوة الدافعة أثناء تحركه. وبعد عدة سنوات من الدوران حول الشمس، سوف يقلع على نحو حلزوني خارج النظام الشمسي نحو النجوم. وأخبرني جونسون أن مثل هذا الشراع الشمسي يمكنه إرسال مسبار بسرعة تصل إلى عُشر سرعة الضوء، وربما أمكنه الوصول إلى أقرب نجم خلال أربع مائة عام.

ومن أجل تقليل الوقت اللازم للوصول إلى النجوم، بحث جونسون عدة وسائل لإضافة المزيد من قوة الدفع للشراع الشمسي. وأحد الاحتمالات وضع بطارية ضخمة لأشعة الليزر على سطح القمر، بحيث ترتطم تلك

الأشعة بالشرع وتعطيه قوة دفع إضافية أثناء إبحاره نحو النجوم. وإحدى المشكلات التي تواجه مركبة فضائية موجهة بواسطة شرع شمسي تتمثل في صعوبة توقف الشرع، وعكس اتجاهه للعودة، لأن الضوء الذي يدفعها يتحرك نحو الخارج انطلاقاً من الشمس. وأحد الحلول المقترحة عكس اتجاه الشرع واستخدام ضغط ضوء النجم المستهدف الوصول إليه في إبطاء المركبة. وهناك حل آخر، ألا وهو: الإبحار حول النجم المستهدف باستخدام جاذبيته لصنع أثر يشبه أثر المقلاع من أجل رحلة العودة. وهناك حل ثالث يتمثل في الهبوط على أحد الأقمار القريبة من النجم، ووضع بطاريات ليزر، ثم الإقلاع في رحلة العودة بمساعدة ضوء النجم وأشعة الليزر التي سيتم إطلاقها من ذلك القمر.

ورغم أحلام جونسون الطموحة والبعيدة، فإنه يدرك أن الواقع أقل من ذلك بكثير. ففي عام 1993، أطلق الروس عاكس (میلار) Mylar بعرض ستين قدماً في الفضاء من المحطة الفضائية (میر) Mir، ولكن هذا كان فقط من أجل استعراض عملية الإطلاق. وفشلت محاولة ثانية. وفي عام 2004، أطلق اليابانيون بنجاح نموذجين لشرعين شمسيين، ولكن مرة أخرى كان هذا فقط بهدف اختبار عملية الإطلاق، وليس الدفع. وفي عام 2005، كانت هناك محاولة طموحة من جانب (مجتمع الكواكب) Planetary Society، و(استوديوهات كوزموس) Cosmos Studios، والأكاديمية الروسية للعلوم Russian Academy of Science، لإطلاق شرع شمسي حقيقي يسمى (كوزموس 1) Cosmos 1. وبالفعل تم إطلاق الشرع من على متن غواصة روسية. غير أن الصاروخ (فولنا) Volna فشل في

الإطلاق وفي الوصول إلى مداره. وفي عام 2008، حاول فريق من ناسا إطلاق شراع شمسي باسم (نانو سيل - دي) NanoSail - D، ولكنه فُقد عندما فشل إطلاق الصاروخ (فالكون 1) Falcon 1. ولكن أخيراً، في شهر مايو 2010، أطلقت وكالة الفضاء اليابانية Japan Aerospace Exploration Agency المركبة الفضائية (أيكاروس) IKAROS، وهي أول مركبة فضاء تستخدم تكنولوجيا الشراع الشمسي في الفضاء. وتضم هذه المركبة شراعاً مربع الشكل طول قطره 20 متراً (60 قدماً)، وتستخدم دفع الشراع الشمسي للانطلاق في طريقها إلى كوكب الزهرة. ويأمل اليابانيون في النهاية في إرسال مركبة أخرى إلى المشتري باستخدام دفع الشراع الشمسي.

## الصاروخ النووي

درس العلماء أيضاً استخدام الطاقة النووية في إطلاق مركبة فضائية. فبداية من عام 1953، بدأت هيئة الطاقة الذرية Atomic Energy Commission تبحث بجدية إمكانية حمل الصواريخ لمفاعلات ذرية، بداية من المشروع المعروف باسم (مشروع روفر) Project Rover. وفي الخمسينات والستينات، انتهت تجارب الصواريخ النووية بالفشل؛ لقد كانت تلك الصواريخ غير مستقرة وأكثر تعقيداً من أن يمكن التعامل معها على نحو سليم. كما أننا نستطيع أن نوضح بسهولة أن مفاعل انشطار نووي عادياً لا يمكنه ببساطة توليد طاقة كافية لإطلاق مركبة فضائية نحو النجوم. فمفاعل طاقة نووية عادي ينتج نحو مليار واط من الطاقة، وهو

قدر غير كافٍ لبلوغ النجوم.

ولكن في الخمسينات، اقترح العلماء استخدام قنابل ذرية وهيدروجينية، وليس مفاعلات، لإطلاق مركبة فضائية تصل إلى النجوم. فاقترح (مشروع أوريون) Orion Project، على سبيل المثال، دفع الصاروخ بواسطة سلسلة متتابعة من موجات الانفجار النووي الناتجة عن مجموعة كبيرة من القنابل الذرية، إذ ستقوم المركبة الفضائية بإسقاط مجموعة متتابعة من القنابل الذرية من قاعها، مما سيصنع سلسلة من التفجيرات القوية من أشعة إكس. وسوف تؤدي موجات التصادم الناتجة عن ذلك إلى دفع المركبة للأمام. وفي عام 1959، قدر علماء الفيزياء في مؤسسة (جنرال أتوميكس) General Atomics أن نسخة متطورة من صاروخ أوريون سيكون وزنها 8 ملايين طن، وقطرها 400 متر، وتحتاج إلى 1000 قنبلة هيدروجينية لتزويدها بالطاقة.

وكان أحد المؤيدين المتحمسين لمشروع أوريون عالم الفيزياء فريمان ديسون الذي يقول: (بالنسبة لي، يعني صاروخ أوريون فتح النظام الشمسي كله أمام الحياة؛ وهذا من شأنه أن يغير مجرى التاريخ). كما أنه سيكون وسيلة مناسبة للتخلص من القنابل الذرية الموجودة على الأرض، وهو ما يؤكده ديسون بقوله: (في رحلة واحدة، سوف نتخلص من 2000 قنبلة).

غير أن ما أنهى مشروع أوريون تماماً معاهدة حظر التجارب النووية Nuclear Test Ban Treaty التي أبرمت في عام 1963، والتي حظرت اختبار الأسلحة النووية فوق الأرض. ومن دون إجراء اختبارات، لم يكن بوسع علماء الفيزياء تعديل وتحسين تصميم الصاروخ أوريون؛ وأجهضت الفكرة.

## صاروخ الاندماج النفاث

وهناك اقتراح آخر للصاروخ النووي قدمه عام 1960 روبرت دابليو. بوسارد Robert W. Bussard. فقد تخيل أداة اندماج مشابهة لمحرك نفاث عادي. ومعروف أن هذا المحرك يقوم بإدخال الهواء من الأمام، ثم يدمجه مع وقوده داخليا. وعن طريق إشعال مزيج الهواء والوقود، يحدث انفجار كيميائي يخلق دفعا قويا. وقد تخيل بوسارد تطبيق نفس المبدأ الرئيس على محرك اندماجي. فبدلا من إدخال الهواء، فإن محرك الاندماج النفاث سيمتص غاز الهيدروجين الموجود في كل مكان في الفضاء الكوني. وسيتم ضغط غاز الهيدروجين وتسخينه بواسطة مجالات كهربائية ومغناطيسية إلى أن تندمج ذرات الهيدروجين وتتحول إلى هيليوم، مطلقة كميات هائلة من الطاقة أثناء ذلك. وسوف يصنع هذا انفجارا يصنع بدوره دفعة قوية جدا. ولما كان هناك مخزون لا ينفد من الهيدروجين في أعماق الفضاء، فإن صاروخ الاندماج النفاث من الجائز أن يستمر في الانطلاق إلى ما لا نهاية.

إن تصاميم صاروخ الاندماج النفاث تشبه مخروط الآيس كريم. وتقوم غرفة الاختزان بحبس غاز الهيدروجين الذي يتم إرساله إلى المحرك، حيث يتم تسخينه ودمجه مع ذرات هيدروجين أخرى. ووفقا لحسابات بوسارد، فإنه إذا استطاع محرك نفاث وزنه 1000 طن الحفاظ على معدل تسارع مربع قدره 32 قدما في الثانية (أو ما يوازي قوة الجاذبية التي نشعر بها على الأرض)، فإنه سيقترب من 77 في المئة من سرعة الضوء خلال عام واحد فقط. ولما كان محرك الاندماج النفاث يمكنه الانطلاق إلى ما لا نهاية، فبوسعه -نظريا - مغادرة

مجرتنا والوصول إلى مجرة أندروميديا - على بعد مليوني سنة ضوئية من الأرض - في غضون 23 سنة فقط بحساب رواد الفضاء الموجودين داخل المركبة الصاروخية (فكما هو وارد في نظرية النسبية لأينشتاين، فإن الزمن يتباطأ في الصواريخ المنطلقة بسرعة كبيرة. ومن ثم، يمكن أن يمر على الأرض مليوني سنة، دون أن يزيد عمر رواد الفضاء داخل المركبة عن 23 سنة فقط).

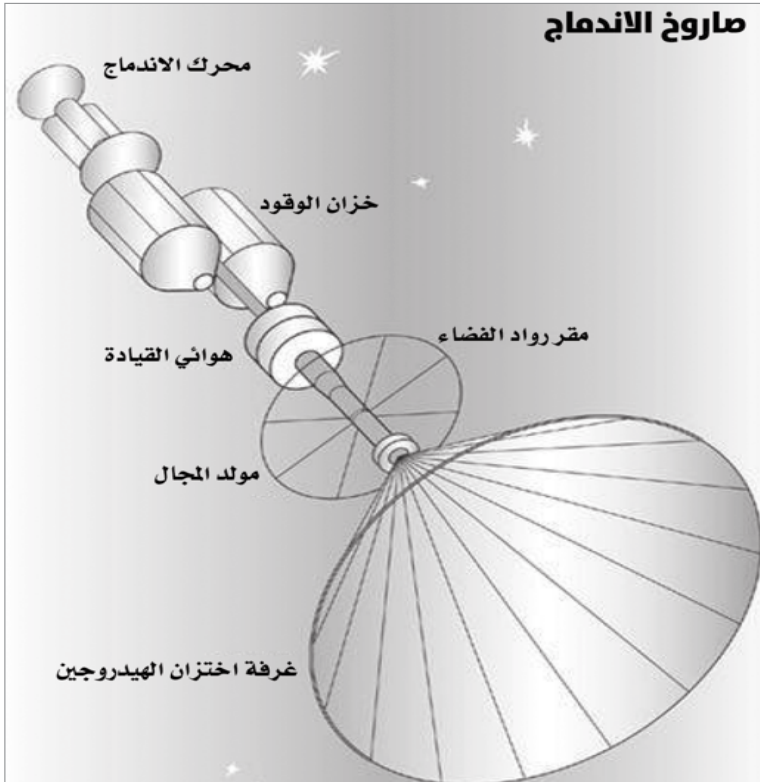
وهناك العديد من المشكلات التي تواجه محرك الاندماج النفث. أولاً، لما كانت البروتونات في الأساس هي التي تتواجد في الفضاء، فلا بد أن يحرق محرك الاندماج وقوداً هيدروجينياً نقياً، وهذا النوع لا يولد الكثير جداً من الطاقة (هناك العديد من الطرق لدمج الهيدروجين. والطريقة المفضلة على الأرض هي دمج النظيرين الديوتيريوم والترتيوم اللذان يولدان قدراً كبيراً من الطاقة. ولكن في الفضاء الخارجي، يوجد الهيدروجين كبروتون منفرد، لذا فإن المحركات النفثية لا يمكنها سوى دمج البروتونات بالبروتونات، وهو ما لا يولد القدر نفسه من الطاقة الذي يولده دمج الديوتيريوم والترتيوم). غير أن بوسارد أوضح أنه إذا قمنا بتعديل مزيج الوقود بإضافة بعض الكربون، فإن هذا الكربون سيعمل كمادة محفزة لتوليد كميات هائلة من الطاقة، كافية لانطلاق مركبة فضائية.

ثانياً، لا بد أن تكون حجرة حبس الهيدروجين ضخمة للغاية - باتساع 160 كيلومتراً تقريباً - لكي تستطيع اختزان قدر كاف من الهيدروجين، لذا سيكون ضرورياً تجميعها في الفضاء الخارجي.

وهناك مشكلة أخرى ما زالت تبحث عن حل. ففي عام 1985، أوضح المهندسان روبرت زوبرين Robert Zubrin ودانا أندروز Dana Andrews أن



الاحتكاك الذي سيواجه صاروخ الاندماج النفث سيكون كبيرا جدا لدرجة تعوقه عن التسارع إلى ما يقرب من سرعة الضوء. وهذا الاحتكاك ناتج عن المقاومة التي ستواجهها مركبة الفضاء عندما تنطلق في الفضاء وسط ذرات الهيدروجين. غير أن حسابات هذين المهندسين تعتمد بشدة على افتراضات معينة قد لا تنطبق على التصميمات المستقبلية لصواريخ الاندماج النفثية.



نظرا لأن محرك الاندماج النفث يستمد الهيدروجين من الفضاء الخارجي، فإنه يستطيع - نظريا - الانطلاق في الفضاء إلى ما لا نهاية.

وفي الوقت الراهن، وإلى أن نمتلك فهما أفضل لعملية الاندماج (ولآثار الاحتكاك بالأيونات في الفضاء)، ما يزال الجدل مستمرا حول محركات الاندماج النفاث. ولكن إذا أمكن حل تلك المشكلات الهندسية، فإن صاروخ الاندماج النفاث سيكون حتما احتمالا جديا.

## صواريخ المادة المضادة

أحد الاحتمالات المميزة الأخرى استخدام أعظم مصدر طاقة في الكون على الإطلاق - المادة المضادة antimatter - لتزويد سفينة الفضاء بالطاقة. والمادة المضادة هي عكس المادة، وبشحنة معاكسة؛ فمثلا، الإلكترون له شحنة سالبة، لكن إلكترون المادة المضادة (البوزيترون) له شحنة موجبة. كما أن المادة المضادة تفنى عند اختلاطها بالمادة العادية. وفي واقع الأمر، فإن مقدار ملعقة صغيرة من المادة المضادة يحتوي على طاقة كافية لتدمير منطقة نيويورك الحضرية بالكامل.

والمادة المضادة قوية لدرجة أن دان براون Dan Brown (مؤلف روايات الخيال العلمي الأمريكي) جعل الأشرار في روايته (ملائكة وشياطين) Angels and Demons يصنعون قنبلة لنسف الفاتيكان باستخدام قدر من المادة المضادة مسروق من (المعمل الأوروبي لأبحاث الجسيمات) CERN الموجود خارج جنيف في سويسرا. وعلى عكس القنبلة الهيدروجينية التي تقدر كفاءتها بنسبة 1 في المئة فقط، فإن قنبلة المادة المضادة ستكون ذات كفاءة تبلغ 100 في المئة؛ إذ ستحول المادة إلى طاقة من خلال معادلة أينشتاين:  $E=mc^2$  (حيث E هي الطاقة المنطلقة، و m هي الكتلة، و c هي سرعة الضوء).

ومن حيث المبدأ، تمثل المادة المضادة الوقود الصاروخي المثالي لسفينة فضاء. ويقدر جيرالد سميث Gerald Smith من جامعة ولاية بنسلفانيا Pennsylvania State University أن 4 مليارات فقط من المادة المضادة يمكن أن توصلنا إلى المريخ، وربما وصلتنا مئة جرام منها إلى النجوم القريبة. فالمادة المضادة تطلق طاقة أكبر مليار مرة من وقود الصواريخ. وسوف يبدو المحرك الذي يعمل بوقود المادة المضادة شديد البساطة. فما علينا إلا أن نضخ تياراً ثابتاً من جسيمات المادة المضادة في غرفة الصاروخ، لتختلط هناك بالمادة العادية متسببة في حدوث انفجار رهيب. ومن ثم، يتم إخراج الغاز المتفجر من أحد جانبي الغرفة مولداً قوة دفع هائلة.

لكننا ما نزال بعيدين عن تحقيق هذا الحلم. فحتى الآن، استطاع علماء الفيزياء إيجاد إلكترونات مضادة وبروتونات مضادة، وكذلك ذرات هيدروجين مضادة، حيث تدور الإلكترونات المضادة حول البروتونات المضادة. وقد حدث هذا في المعمل الأوروبي لأبحاث الجسيمات CERN، وحدث أيضاً في (معمل فيرمي) Fermi National Accelerator Laboratory (فيرمي لاب) Fermilab خارج شيكاغو، في محطم الذرات التابع له المعروف باسم (تيفاترون) Tevatron، وهو ثاني أكبر محطم ذرات أو مسرع جسيمات في العالم (ولا يفوقه سوى مسرع الجسيمات Large Hadron Collider أو مصادم الهدرونات الكبير في المعمل الأوروبي لأبحاث الجسيمات). لقد قام الفيزيائيون في كلا المعملين بجعل شعاع من الجسيمات عالية الطاقة يصطدم بهدف، خلفاً وابلًا من الخطام والأنقاض التي اشتملت على بروتونات مضادة. ثم تم استخدام مغناطيسات عملاقة لفصل المادة المضادة

عن المادة العادية. وبعد ذلك، تم إبطاء سرعة تلك البروتونات المضادة وجعل الإلكترونات المضادة تختلط بها لخلق ذرات هيدروجين مضادة.

وأحد العلماء الذين فكروا طويلاً وعمق في الفوائد العملية للمادة المضادة هو ديف ماكجينيس Dave McGinnis، وهو عالم فيزياء في معمل (فيرمي لاب). وقد شرح لي ماكجينيس أثناء وقوفنا إلى جوار محطم الذرات (تيفاترون) الاقتصادات المفزعة للمادة المضادة، وأكد لي أن الطريقة الوحيدة المعروفة لإنتاج كميات ثابتة من المادة المضادة هي استخدام محطم ذرات مثل جهاز (تيفاترون)؛ وتلك الأجهزة باهظة الثمن إلى أبعد حد وتولد كميات ضئيلة للغاية من المادة المضادة. فعلى سبيل المثال، ولّد محطم ذرات المعمل الأوروبي لأبحاث الجسيمات CERN في عام 2004 عدة أجزاء من تريليون جزء من الجرام من المادة المضادة بتكلفة 20 مليون دولار. ووفقاً لمعدل الإنتاج هذا، سوف يفلس اقتصاد الأرض كلها وينهار لإنتاج كمية كافية لتزويد مركبة فضاء بالطاقة. لقد أكد لي أن المحركات التي تعمل بالمادة المضادة ليست مفهوماً بعيد الاحتمال؛ إنها مما يندرج تحت قوانين الفيزياء بلا شك، غير أن تكلفة محرك كهذا ستقف مانعاً أمام صنع واحد في المستقبل القريب.

وأحد الأسباب التي تجعل المادة المضادة هائلة التكلفة إلى هذا الحد أن محطّات الذرات اللازمة لإنتاجها باهظة الثمن. غير أن محطّات الذرات هذه عبارة عن أجهزة لكل الأغراض، مصممة أساساً لإنتاج جسيمات مذهشة أصغر من الذرة، وليس لإنتاج جسيمات المادة المضادة. إنها أدوات بحثية، وليست أجهزة تجارية. ومن المحتمل أن تكون هناك إمكانية

لتخفيض النفقات بشدة إذا صمم أحدهم نوعاً جديداً من محطات الذرات تحديداً لإنتاج كميات وفيرة من المادة المضادة. وبعد ذلك، وعن طريق إنتاج تلك الأجهزة الجديدة بكثافة، قد يصبح من الممكن إنتاج كميات كبيرة من المادة المضادة. ويعتقد هارولد جيريش Harold Gerrish من وكالة (ناسا) أن تكلفة إنتاج المادة المضادة قد تنخفض في نهاية الأمر لتصل إلى 5000 دولار لكل ميكروجرام<sup>(1)</sup>.

ويكمن أحد الحلول الأخرى في العثور على حجر نيزكي من المادة المضادة في الفضاء الخارجي؛ إن العثور على شيء كهذا كفيل بتوفير طاقة كافية لتزويد سفينة فضاء بالطاقة التي تحتاجها. وفي الواقع، تم إطلاق القمر الصناعي الأوروبي (بامبلا) PAMELA (وهو اختصار لعبارة Payload for Antimatter Matter Exploration and Light – Nuclei Astrophysics) عام 2006 خصيصاً من أجل البحث عن مادة مضادة موجودة على نحو طبيعي في الفضاء الخارجي.

وإذا وُجدت كميات كبيرة من المادة المضادة في الفضاء، يمكن للمرء أن يتصور استخدام شبكات كهرومغناطيسية ضخمة لتجميعها. لذا فعلى الرغم من أن الصواريخ الفضائية التي تنطلق بوقود من المادة المضادة تقع في حدود قوانين الفيزياء بكل تأكيد، فقد يستغرق الأمر حتى نهاية القرن لخفض التكلفة. ولكن إذا أمكن تحقيق هذا، فسوف تصبح صواريخ المادة المضادة مرشحة بقوة من الجميع لبناء سفن الفضاء التي تصل إلى النجوم.

(1) ميكروجرام microgram: وحدة قياس تساوي واحداً على مليون من الجرام. (المترجم)

## سفن النانو

عندما تبهرنا المؤثرات الخاصة التي نراها في سلسلة أفلام (حرب النجوم) Star Wars، أو (رحلة النجوم) Star Trek، نتخيل على الفور سفينة فضاء مستقبلية ضخمة مدججة بأحدث الأجهزة وأكثرها تطوراً. ولكن هناك احتمالاً آخر يكمن في استخدام تقنية النانو لصنع سفن فضاء صغيرة الحجم، ربما لا يزيد حجمها على حجم أنبوب صغير، أو إبرة، أو حتى أصغر من ذلك. إن لدينا تصوراً مسبقاً يقضي بأن سفينة الفضاء لابد أن تكون ضخمة، كسفينة (إنتربرايز) في سلسلة (رحلة النجوم)، وقادرة على إعاشة طاقم كبير من رواد الفضاء. غير أن الوظائف الأساسية لسفينة الفضاء يمكن إنجازها بواسطة سفن صغيرة مصنوعة من تكنولوجيا النانو، بحيث يمكن إطلاق أعداد ضخمة - ربما تصل لملايين - من سفن النانو الصغيرة إلى النجوم القريبة، إذ لن يصل منها إلى غايته سوى عدد ضئيل. وبمجرد أن تصل تلك السفن إلى قمر قريب من أحد النجوم، يمكنها إنشاء مصنع لتصنيع نسخ غير محدودة من تلك السفن.

ويتصور فينت سيرف<sup>(1)</sup> Vint Cerf - أحد المبتكرين الأصليين لشبكة الإنترنت - سفناً نانوية صغيرة الحجم لا يمكنها فقط استكشاف النظام الشمسي وإنما يمكنها في نهاية الأمر استكشاف النجوم البعيدة نفسها. يقول سيرف: (سوف يكون استكشاف النظام الشمسي أكثر فعالية من

(1) فينت سيرف Vint Cerf: عالم كمبيوتر أمريكي شهير، يطلق عليه اسم (أبو الإنترنت) لإسهاماته في تطوير شبكة الإنترنت. (المترجم)

خلال إنشاء أجهزة صغيرة، لكنها قوية، على نطاق النانو، يمكنها السفر بسهولة والوصول إلى سطح الكواكب والأقمار القريبة منا، وإلى تحت السطح، وإلى الغلاف الجوي لتلك الكواكب والأقمار... ويمكن للمرء حتى أن يستنتج تلك الإمكانيات لاستكشاف الفضاء البعيد).

في الطبيعة، تنتج الثدييات عددا محدودا من الذرية، وتحرص على أن تعيش كل ذريتها. أما الحشرات، فإنها تنتج أعدادا هائلة من الذرية، ولا يعيش من تلك الذرية سوى نسبة ضئيلة. ويمكن لكلتا الاستراتيجيتين أن تبقى النوع حيا لملايين السنين. وبالمثل، فإنه بدلاً من إرسال سفينة فضاء واحدة كبيرة باهظة التكلفة إلى النجوم، يمكننا إرسال ملايين السفن الفضائية الصغيرة قليلة التكلفة التي لا تتطلب سوى أقل القليل من الوقود. فمن المنطقي استمداد هذا المفهوم من إستراتيجية ناجحة للغاية قائمة في الطبيعة، وهي ظاهرة الأعداد الكبيرة. فالطيور والنحل، وغيرها من الحيوانات الطائرة، تطير في أسراب أو حشود. ولا شك أن الأعداد الكبيرة لا توفر الأمان فحسب، وإنما يعمل الحشد أيضاً كنظام إنذار مبكر. فإذا حدث اضطراب خطير في أحد أجزاء الحشد، بسبب هجوم مفترس مثلاً، يتم نقل الرسالة بسرعة إلى باقي الحشد. كما أن الحشود الكبيرة تتسم بالكفاءة العالية جداً فيما يتعلق بالطاقة. فعندما تطير الطيور بتشكيل الرقم (7) الشهير، يقل كم الطاقة المطلوب للطيران عما يحتاجه كل طائر منفرداً.

ويعصف العلماء الحشد بأنه (كيان حي واحد فائق)، كيان يبدو أنه يتمتع بذكاء خاص به، ومستقل عن قدرات أي فرد واحد به. فالنملة الواحدة،

على سبيل المثال، لديها جهاز عصبي في غاية البساطة ومخ ضئيل للغاية، ولكن جماعات النمل معا يمكنها صنع كثرثبات معقدة جدا. ويأمل العلماء في تطبيق بعض هذه الدروس المستفادة من الطبيعة في تصميم مجموعة كبيرة من الآلات التي يمكنها في يوم من الأيام أن تقطع الرحلة إلى كواكب ونجوم أخرى بعيدة.

ويشبه هذا الفكرة الافتراضية حول ذرات الغبار الذكية التي تبحثها وزارة الدفاع الأمريكية (البيتاجون): مليارات الجسيمات التي يتم بثها في الهواء، كل واحدة منها تحتوي على مستشعرات دقيقة للغاية للقيام بعمليات الاستطلاع. وكل واحد من هذه المستشعرات ليس متطورا أو ذكيا جدا، لكن بمقدورها وهي مجتمعة سويا جمع وإرسال جبال من المعلومات. وقد مولت وكالة أبحاث المشاريع المتقدمة الدفاعية Defense Advanced Research Projects Agency (المعروفة اختصارا بـ DARPA)، التابعة لوزارة الدفاع الأمريكية، هذا البحث من أجل إمكانية استخدامه في تطبيقات عسكرية محتملة، كمرافقة مواقع الأعداء في ميدان المعارك. وفي عامي 2007 و2009، أنتجت القوات الجوية أوراق مواقع تشرح فيها بالتفصيل خطط العقود المقبلة، وتوضح كل شيء بداية من النسخ المتطورة من برنامج (المفترس) Predator (الذي تكلف القطعة الواحدة منه اليوم 4.5 ملايين من الدولارات) حتى أسراب المستشعرات الصغيرة التي لا يزيد حجمها عن حجم حشرة صغيرة، والتي لا تكاد تكلف شيئا.

كما أن العلماء مهتمون بهذه الفكرة. وقد يرغبون في نشر الغبار الذكي



من أجل مراقبة فورية لآلاف المواقع خلال الأعاصير، والعواصف الرعدية، والانفجارات البركانية، والزلازل، والفيضانات، وحرائق الغابات، وغيرها من الظواهر الطبيعية. ففي فيلم (الإعصار) Twister، على سبيل المثال، رأينا مجموعة من مطاردي الأعاصير الشجعان يخاطرون بحياتهم لوضع مجسات حول أحد الأعاصير. وليس هذا من الكفاءة. فبدلاً من قيام مجموعة من العلماء بوضع بضعة مجسات خلال انفجار بركاني أو إعصار لقياس درجة الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح، يمكن للغبار الذكي أن يمدنا ببيانات من آلاف المواقع المختلفة في وقت واحد بطول مئات الأميال. وعند تغذية أجهزة الكمبيوتر بتلك البيانات، يمكننا أن نعطينا معلومات آنية حول مراحل تطور إعصار أو بركان ما بصورة ثلاثية الأبعاد. وقد تأسست بالفعل شركات تجارية لتسويق تلك المجسات والمستشعرات الصغيرة التي لا يزيد حجم بعضها على رأس دبوس.

وهناك ميزة أخرى لسفن النانو، ألا وهي: كونها لا تحتاج سوى لقدر ضئيل للغاية من الوقود لإرسالها إلى الفضاء. وبدلاً من استخدام صواريخ دفع عملاقة لا يمكنها تجاوز سرعة الـ 25000 ميل في الساعة، سيكون من السهل نسبياً إرسال عناصر صغيرة إلى الفضاء بسرعات هائلة أعلى بكثير. وفي الواقع، من السهل إرسال جسيمات دون ذرية بسرعة تقارب سرعة الضوء باستخدام المجالات الكهربائية العادية. وتلك الجسيمات النانوية تحمل شحنة كهربائية صغيرة، ويمكن بسهولة تعجيلها بواسطة المجالات الكهربائية.

وبدلاً من استخدام موارد هائلة لإرسال مسبار إلى قمر أو كوكب آخر،

فإن مسباراً صغيراً واحداً ربما يكون قادراً على استنساخ نفسه، ومن ثم بناء مصنع كامل أو حتى قاعدة قمرية. وحينئذ، يمكن لتلك المستكشفات القادرة على استنساخ نفسها الانطلاق لاستكشاف عوالم أخرى (وتكمن المشكلة في صنع أول مسبار نانوي صغير قادر على استنساخ نفسه، وهو أمر ربما لن يتحقق إلا في المستقبل البعيد).

وقد تعاملت وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) في عام 1980 مع فكرة المستكشفات الآلية ذات القدرة على استنساخ نفسها بجدية للدعوة إلى إجراء دراسة خاصة تسمى (الأتمتة المتقدمة لمهام الفضاء) Advanced Automation for Space Missions، وهي دراسة أجريت في جامعة سانتا كلارا University of Santa Clara وقامت ببحث احتمالات عديدة. وكان أحد الاحتمالات التي بحثها علماء (ناسا) إرسال روبوتات صغيرة قادرة على استنساخ نفسها إلى القمر. وهناك، يقوم الروبوت باستخدام التربة لصنع نسخ لا حصر لها من نفسه.

وكان الجزء الأكبر من التقرير الناتج عن تلك الدراسة مكرساً لتفاصيل إقامة مصنع كيميائي لمعالجة صخور القمر (الطبقة السطحية). فيمكن، مثلاً، أن يهبط الروبوت على سطح القمر، ويفكك نفسه، ثم يعيد تجميع أجزائه على نحو مختلف لصنع مصنع جديد، فيما يشبه كثير اللعبة الروبوت المتحول. فقد يقوم الروبوت، على سبيل المثال، بصنع مرايا ضخمة على شكل قطع مكافئ لتكثيف ضوء الشمس، ثم يبدأ بصهر صخور الطبقة السطحية. وبعد ذلك، يستخدم حمض فلوريد الهيدروجين السائل للبدء في معالجة الطبقة السطحية للقمر لاستخراج المعادن والفلزات القابلة

للاستخدام. ويمكن بعد ذلك تركيب المعادن لبناء القاعدة القمرية. وفي النهاية، يقوم الروبوت ببناء مصنع صغير لإعادة إنتاج نسخ من نفسه. وبناءً على هذا التقرير، بدأ معهد الأفكار المتقدمة Institute for Advanced Concepts التابع لوكالة (ناسا) في عام 2002 بتمويل مجموعة من المشاريع القائمة على تلك الروبوتات ذات القدرة على استنساخ ذاتها. ويعد ماسون بيك Mason Peck من جامعة كورنيل Cornell University واحداً من العلماء الذين تعاملوا بجدية مع فكرة سفن الفضاء المكونة من رقائق صغيرة.

وقد حظيت بفرصة زيارة بيك في معمله الذي يمكنك أن ترى فيه منضدة العمل الخاصة به مكتظة بمكونات ربما تؤول بها الحال في النهاية وقد أرسلت إلى مدار في الفضاء. وإلى جوار الحجرة التي توجد بها تلك المنضدة، توجد حجرة صغيرة نظيفة ذات جدران مكسوة بالبلاستيك، يتم فيها تجميع مكونات دقيقة لأقمار صناعية.

ويمتلك بيك رؤية لاستكشاف الفضاء مختلفة تماماً عن تلك التي تعرضها لنا أفلام هوليوود. فهو يتصور رقاقة صغيرة جداً - حجمها سنتيمتر واحد ووزنها جرام واحد - يمكن تعجيلها إلى ما يتراوح بين 1 و 10 في المائة من سرعة الضوء. وهو يستغل أثر المقلاع الذي تستخدمه (ناسا) في قذف سفن الفضاء وتوصيلها إلى سرعات هائلة. وتشتمل تلك الحيلة التي تستغل الجاذبية الأرضية على إطلاق سفينة فضاء حول كوكب ما، تماماً كما تنطلق الصخور بواسطة المقلاع، وبهذه الطريقة يتم استغلال جاذبية الكوكب في زيادة سرعة سفينة الفضاء.

ولكن بدلاً من الجاذبية، يرغب بيك في استخدام القوى المغناطيسية. وفكرته هي إرسال سفينة فضاء عبارة عن رقاقة صغيرة لتدور حول المجال المغناطيسي للمشتري الذي يفوق مجال الأرض قوة بمقدار 20000 مرة. ويخطط بيك لتعجيل مركبته الفضائية النانوية، بواسطة القوة المغناطيسية المستخدمة في قذف الجسيمات دون الذرية، إلى تريليونات الإلكترون فولت<sup>(1)</sup> electron volt التي يتم الوصول إليها في محطات الذرات على الأرض.

وقد عرض عليّ بيك عينة لرقاقة ظن أنه يمكن في يوم من الأيام أن تُقذف لتدور حول المشتري. وكانت عبارة عن مربع صغير جداً - أصغر من طرف الإصبع - مكتظ بالدوائر الكهربائية. وإجمالاً، ستكون سفينته الفضائية بسيطة؛ على أحد جانبي الرقاقة توجد خلية شمسية لتوفير الطاقة اللازمة للاتصال، وعلى الجانب الآخر يوجد جهاز إرسال لاسلكي وكاميرا ومستشعرات أخرى. ولا يوجد محرك لهذه الأداة لأنها تُدفع فقط بواسطة المجال المغناطيسي لكوكب المشتري (تم إغلاق معهد الأفكار المتقدمة التابع لناسا - وهو الذي كان يحول هذا الاقتراح وغيره من الاقتراحات المبدعة لبرنامج الفضاء منذ عام 1998 - على نحو مؤسف عام 2007 بسبب تخفيضات في الميزانية).

وهكذا، فإن رؤية بيك لسفينة الفضاء تختلف كثيراً جداً عن الرؤية التقليدية التي نجدها في روايات وأفلام الخيال العلمي، حيث تنطلق سفن

(1) إلكترون فولت electron volt: وحدة من وحدات قياس الطاقة. (المترجم)

فضاء ضخمة في الفضاء بقيادة طاقم من رواد الفضاء الشجعان. فإذا تم وضع قاعدة على أحد كواكب المشتري، على سبيل المثال، يمكن عندئذ إطلاق أعداد هائلة من تلك الرقائق الصغيرة في مدارات حول ذلك الكوكب العملاق. وإذا تم بناء بطارية من مدافع الليزر على سطح هذا القمر، يمكن حينئذ تعجيل تلك الرقائق عن طريق ضربها بضوء الليزر، مما سيزيد سرعتها إلى أن تصل إلى جزء من سرعة الضوء.

ومن ثم، طرحنا عليه سؤالاً بسيطاً مفاده: هل يمكنك تصغير تلك الرقائق إلى حجم الجُزء باستخدام تكنولوجيا النانو؟ حينها، بدلاً من استخدام المجالات المغناطيسية لكوكب المشتري لتعجيل تلك الرقائق، يمكن استخدام محطّات ذرات موجودة على سطح قمر الأرض لإطلاق مستكشفات بحجم الجُزء بسرعة تقارب سرعة الضوء. وقد اتفق بيك معي على أن هذا سيكون احتمالاً واقعياً، لكنه لم يبحث التفاصيل بعد.

لذا أخرجنا ورقة، وبدأنا معا في كتابة معادلات هذا الاحتمال (هكذا نتفاعل نحن - العلماء الباحثين - مع بعضنا بعضاً؛ أي بالرجوع إلى السبورة أو ورقة لحل مشكلة ما بكتابة المعادلات). فكتبنا معادلات قانون قوى لورنتس<sup>(1)</sup> Lorentz force التي يستخدمها بيك في تعجيل رقائقه الدقيقة حول المشتري، ولكننا بعد ذلك قمنا بتصغير الرقائق لتصبح بحجم الجزيئات، ووضعناها داخل محطّم ذرات افتراضي مشابه لمسرّع الجسيمات

(1) قانون قوى لورنتس Lorentz force: يعرف أيضاً باسم (قانون القوى الكهرومغناطيسية)، وهو قانون فيزيائي ينص على أن المجال المغناطيسي الناشئ عن التيار الكهربائي ليس سوى مجال ناشئ عن الشحنات المتحركة، ولهذا يزول المجال المغناطيسي بتوقف الشحنات عن الحركة (انقطاع التيار). (المترجم)

(LHC) الموجود في المعمل الأوروبي لأبحاث الجسيمات. وسرعان ما رأينا أن المعادلات تسمح بتسارع مثل هذه السفن الفضائية النانوية إلى ما يقارب سرعة الضوء، باستخدام محطّم ذرات تقليدي لا أكثر فوق سطح القمر. فلأننا استطعنا تقليص حجم سفينة الفضاء من شريحة صغيرة إلى حجم الجُزيء، أمكننا تقليص حجم المسرع المطلوب من حجم المشتري إلى محطّم ذرات تقليدي عادي. وبدلاً من أن تلك الفكرة تمثل احتمالاً واقعياً بحق.

ولكن بعد تحليل المعادلات، اتفق كلانا على أن المشكلة الوحيدة تكمن في مدى ثبات واستقرار تلك السفن الفضائية النانوية الدقيقة. فهل سيؤدي التسارع في نهاية الأمر إلى تمزيق تلك الجُزيئات؟ بلا شك سوف تتعرض الجُزيئات لقوى طرد مركزي هائلة أثناء تعجيلها إلى سرعة تقترب من سرعة الضوء، تماماً ككرة تدور حول خيط. كما أنها ستكون مشحونة كهربائياً، لذا فإنه حتى القوى الكهربائية يمكن أن تمزقها. وقد انتهى كلانا إلى أن سفن النانو تمثل احتمالاً ممكناً بالتأكيد، ولكن الأمر قد يستغرق عقوداً من البحث المستمر لتقليص حجم رقائق بيك إلى حجم الجُزيئات، وتعزيز قوتها حتى لا تنهار عند تعجيلها إلى سرعة مقاربة لسرعة الضوء.

وهكذا، فإن حلم ماسون بيك هو إرسال سرب من الرقائق إلى أقرب نجم، على أمل أن يتمكن بعض تلك الرقائق فعلياً من قطع تلك المسافة في الفضاء. لكن ما الذي ستفعله عندما تصل؟

هنا يبرز إلى الصورة عمل العالم بي زانج Pei Zhang من جامعة كارنيجي ميلون Carnegie Mellon University في وادي السليكون Silicon Valley. لقد قام بصنع أسطول من الطائرات المروحية الصغيرة التي قد

ينتهي بها المطاف في يوم من الأيام على سطح كوكب آخر. وقد عرض عليّ بفخر أسطوله الذي تشبه طائراته طائرات هليكوبتر لعبة. ولكن المظاهر خداعة. ففي منتصف كل طائرة رأيت شريحة مكتظة بدوائر معقدة. وبضغطة زر واحدة، أطلق زانج أربع طائرات صغيرة في الهواء، طارت في جميع الجهات وأرسلت المعلومات. وسرعان ما وجدت نفسي محاطا بسرب من الطائرات الصغيرة.

وقد أخبرني زانج أن هدف سرب الطائرات الصغيرة هذا هو تقديم المساعدات الضرورية في حالات الطوارئ، كالحرائق والانفجارات، عن طريق القيام بالاستطلاع والمراقبة. وفي نهاية المطاف، يمكن تزويد تلك الطائرات بكاميرات تليفزيونية ومستشعرات يمكنها تحديد درجة الحرارة، والضغط، واتجاه الرياح، وما إلى ذلك؛ وهي معلومات قد يتضح أنها حاسمة في حالات الطوارئ. ويمكن إطلاق الآلاف من تلك الطائرات الصغيرة فوق ميدان معركة، أو حريق، أو حتى فوق منطقة تقع خارج كوكب الأرض. كما أن تلك الطائرات تتواصل مع بعضها البعض أيضا. فإذا ما اصطدمت إحداها بعقبة ما، فإنها تبث المعلومة لاسلكيا إلى باقي سرب الطائرات.

وهكذا، فإن إحدى الرؤى للسفر إلى الفضاء قد تتلخص في إطلاق آلاف من الرقائق رخيصة الثمن التي تستعمل لمرة واحدة من ابتكار أناس من أمثال ماسون بيك نحو أقرب نجم من شمسنا بسرعة تقارب سرعة الضوء. وبمجرد أن تصل حفنة من تلك الرقائق إلى وجهتها، تخرج منها أجنحة وشفرات تسمح لها بالطيران فوق الأرض الغريبة، تماما كما يفعل أسطول الطائرات الصغيرة الذي بناه بي زانج. ومن ثم، ترسل تلك الآلات المعلومات التي

تكتشفها إلى الأرض. وبمجرد العثور على كواكب واعدة صالحة للحياة، ينطلق جيل ثانٍ من الأسراب كثيرة الأعداد لإنشاء المصانع على سطح تلك الكواكب، لتقوم تلك المصانع بصنع نسخ إضافية من تلك الأسراب التي تطير بدورها إلى النجم التالي. ومن ثم، تستمر العملية إلى ما لا نهاية.

## هل سنهجر الأرض؟

بحلول عام 2100، من المحتمل أن نكون قد أرسلنا بعض رواد الفضاء إلى كوكب المريخ وحزام الكويكبات، واستكشفنا قمر المشتري، وبدأنا الخطوات الأولى لإرسال مسبار نحو النجوم.

ولكن ماذا عن البشرية؟ هل ستكون لدينا مستعمرات فضائية لتخفيف عدد سكان العالم عن طريق العثور على موطن جديد للبشر في الفضاء الخارجي؟ هل سيبدأ الجنس البشري في الرحيل عن الأرض بحلول عام 2100؟

كلا. ففي ضوء التكلفة، حتى بحلول عام 2100 وما بعده، لن يكون أغلب البشر قد استقلوا سفينة فضائية لزيارة الكواكب الأخرى. ومع أن بعض رواد الفضاء سيكونون قد أقاموا قواعد أمامية صغيرة بين الكواكب، فسيظل أغلب البشر عالقين على سطح الأرض.

وفي ضوء حقيقة أن الأرض ستظل موطن البشر لقرون قادمة من الزمن، فإن هذا يثير تساؤلاً آخر مفاده: كيف ستتطور الحضارة البشرية ذاتها؟ وكيف سيؤثر العلم في نمط حياتنا ووظائفنا ومجتمعنا؟ لا ريب أن العلم هو محرك الرفاهية والازدهار. وعليه، فالسؤال الذي يطرح نفسه هو: كيف يمكن للعلم أن يعيد تشكيل الحضارة والثروة في المستقبل؟





## الفصل السابع



## مستقبل الثروة ... الرابعون والخاسرون

«التكنولوجيا والأيدولوجيا تهزان أسس الرأسمالية في القرن الحادي والعشرين.  
التكنولوجيا تجعل من المهارات والمعرفة المصادر الوحيدة للميزة الإستراتيجية الدائمة»  
- ليستر ثورو<sup>(1)</sup>

في الأساطير القديمة، اعتمد صعود الإمبراطوريات العظيمة وأفولها على قوة الجيوش وبراعتها ودهائها. وكان الجنرالات العظماء في الإمبراطورية الرومانية القديمة يتعبدون في معبد الإله (مارس) Mars، إله الحرب، قبيل الحملات العسكرية الحاسمة. وشجعت البطولات الأسطورية للإله (ثور) Thor شعوب الفايكينج على خوض معارك بطولية عظيمة. كما بنى القدماء معابد وتمائيل ضخمة تبجيلاً للآلهة وتخليداً لذكرى انتصاراتهم في معاركهم ضد أعدائهم.

لكننا نكتشف قصة مختلفة تماماً عن هذه الرؤية الأسطورية عندما نقوم بتحليل الصعود والانحدار الفعلي للحضارات العظمى.  
لو كنت مخلوقاً غريباً قادماً من المريخ مثلاً لزيارة كوكب الأرض في عام 1500، وشاهدت كل هذه الحضارات العظيمة، فأيهما كنت ستظن أنها ستسود العالم في نهاية المطاف؟ لكن الإجابة ستكون سهلة عليك في ذلك

(1) ليستر ثورو Lester Thurow: عميد سابق لكلية إدارة سلون Sloan School of Management معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا MIT، ومؤلف للعديد من الكتب في مجال الاقتصاد. (المترجم)

الزمن؛ فأَي حضارة بشرية لذلك سوى الحضارة الأوروبية. ففي الشرق الأقصى، كنت سترى الحضارة الصينية العظيمة، التي دامت طوال ألف عام كاملة. وسترى القائمة الطويلة للاختراعات التي ابتكرها الصينيون التي لا نظير لها: من ورق الكتابة، وآلات الطباعة، والبارود، والبوصلة، وغير ذلك كثير. فعلماء تلك الحضارة هم الأفضل على سطح الكوكب، وحكومتها موحدة، وأرضها يسودها السلام.

وفي جنوب أوروبا، حيث توجد الإمبراطورية العثمانية، التي كانت قباب قوسين أو أدنى من اكتساح أوروبا وسحقها. وقد وضعت الحضارة الإسلامية العظيمة علم الجبر، وأنتجت تطورات وتحسينات في البصريات، والفيزياء، ووضعت أسماء للنجوم؛ وازدهرت فيها الفنون والعلوم، ولم تواجه جيوشها العظيمة أي مقاومة ذات بال، وكانت مدينة إسطنبول آنذاك أحد المراكز الكبرى في العالم لتدريس العلوم.

ثم إنك كنت ستجد الدول الأوروبية البائسة المثيرة للشفقة، التي كانت ضحية عذاب التعصب الديني، ومحاکمات الساحرات، ومحاکم التفتيش. فقد أصبحت أوروبا الغربية، التي ظلت في انحدار شديد ومستمر طوال ألف عام كاملة منذ انهيار الإمبراطورية الرومانية، متخلفة للغاية إلى حد أنها أصبحت مستورداً خالصاً للتكنولوجيا. كانت تلك الفترة بمثابة ثقب أسود من القرون الوسطى، حيث اختفت معظم علوم الإمبراطورية الرومانية ومعارفها منذ زمن طويل، وحلت محلها مبادئ دينية خائفة. وغالباً ما كانت المعارضة أو المخالفة تُقابل بالتعذيب أو بالتنكيل أو ما هو أسوأ. وعلاوة على ذلك، كانت المدن الأوروبية المستقلة بوصفها دولاً في

حالة حرب دائمة مع بعضها بعضاً.

فماذا حدث إذن؟

دخلت كل من الإمبراطوريتين الصينية والعثمانية العظيمتين فترة ركود واضمحلال تكنولوجي دامت 500 عام، في الوقت الذي بدأت فيه أوروبا قبولاً واعتناقاً غير مسبوق للعلوم والتكنولوجيا.

فبداية من عام 1405، أمر الإمبراطور الصيني (يوانجل) (Yongle<sup>(1)</sup>) بتجهيز أسطول حربي هائل، وهو أكبر أسطول شهده العالم على الإطلاق، لاستكشاف العالم. (كانت سفن (كولومبوس) Columbus الثلاث الضئيلة توضع بكل بساطة على سطح واحدة فقط من تلك السفن العملاقة في ذلك الأسطول الضخم). وأطلقت سبع حملات كبرى، كل واحدة منها أكبر من سابقتها. وأبحر هذا الأسطول حول سواحل جنوب شرق آسيا ووصل إلى أفريقيا - مدغشقر - بل ربما تجاوزها. وجلب الأسطول معه في رحلة العودة ثروة هائلة من البضائع، والأطعمة، والحيوانات الغريبة من أقصى بقاع الأرض. وهناك نقوش قديمة رائعة على الخشب لزيارات أفريقية يتم عرضها في حديقة حيوان أسرة مينج.

غير أن أباطرة الصين أصيبوا بخيبة الأمل أيضاً. لكن، أهذا كل ما هنالك؟ أين إذن الجيوش العظمى التي يمكن أن تنافس الصينيين؟ هل الأطعمة والحيوانات الغريبة هي كل ما يمكن للعالم الخارجي تقديمه للصين؟ وعندما فقد الصينيون اهتمامهم بباقي العالم، وأدى ترك أباطرة الصين المتأخرين

(1) الإمبراطور يوانجل Yongle emperor: الإمبراطور الثالث للصين من أسرة مينج Ming. (المترجم)

لأسطولهم العظيم إلى تدهوره، واحتراقه في نهاية الأمر. وتدرجياً عزلت الصين نفسها عن العالم الخارجي، وأصابها الجمود والركود في حين اندفع باقي العالم للأمام قدماً.

وترسخ موقف مشابه لهذا لدى الإمبراطورية العثمانية أيضاً، فبعد أن فتحوا معظم أجزاء العالم المعروف لهم، تحول العثمانيون إلى شؤوْنهم الداخلية وإلى التعصب الديني، وعاشوا قروناً من الركود. ويذكر أن ماهاتير محمد Mahathir Mohamad، رئيس وزراء ماليزيا السابق، قال: (بدأت الحضارة الإسلامية العظيمة في الانحدار عندما فسر علماء المسلمين طلب العلم، المأمور به في القرآن، على أنه العلم الشرعي وحده دون غيره، وأن العلوم الأخرى غير إسلامية. ونتيجة لذلك، تخلى المسلمون عن دراسة العلوم، والرياضيات، والطب، وغيرها مما يسمى (العلوم الدنيوية). وبدلاً من ذلك، أهدروا وقتاً طويلاً في الجدل حول التعاليم والتأويلات الإسلامية، والفقه الإسلامي والسلوكيات الإسلامية، وهو ما أدى إلى انقسام (الأمة) وظهور عدد لا حصر له من الطوائف والمذاهب).

وفي أوروبا، كانت هناك بدايات لصحوة كبرى. فقد جلبت التجارة للقارة أفكاراً جديدة ثورية، وعجلت طابعة جوتنبرج من وتيرة التقدم. وأخذت سلطة الكنيسة تتقلص بعد ألف عام من السيطرة المطلقة، كما أخذت الجامعات - ولو ببطء - في تحويل انتباهها بعيداً عن تأويل الفقرات الغامضة من الإنجيل نحو تطبيق فيزياء نيوتن وكيمياء دالتون وغيرهما. ويضيف المؤرخ بول كينيدي Paul Kennedy، من جامعة يال

Yale University، عاملاً آخر أسهم في النهضة السريعة لأوروبا وهو حالة الحرب الدائمة بين القوى الأوروبية شبه المتكافئة، والتي لم تستطع أي منها قط الهيمنة على القارة بأسرها. فالملوك، ممن هم في حالة حرب دائمة مع بعضهم بعضاً، قاموا بتمويل العلوم والهندسة لتوسيع طموحاتهم الإقليمية. ولم يكن العلم مجرد ممارسة أكاديمية وإنما كان وسيلة لصنع أسلحة جديدة وإيجاد سبل جديدة لتحقيق الثروة.

وسرعان ما أدت نهضة العلوم والتكنولوجيا في أوروبا إلى البدء في إضعاف قوة الصين والإمبراطورية العثمانية. وتداعت الحضارة الإسلامية، التي ازدهرت طوال قرون باعتبارها بوابة التجارة بين الشرق والغرب، وذلك عندما اكتشف البحارة الأوروبيون طرقاً تجارية أخرى إلى العالم الجديد وإلى الشرق؛ لاسيما طريق رأس الرجاء الصالح حول قارة أفريقيا، والذي يتجنب المرور بمنطقة الشرق الأوسط كلها. ووجدت الصين نفسها تُقسم بفعل السفن الحربية الأوروبية المزودة بالمدافع، والتي استفادت - على نحو مثير للسخرية - من اختراعين صينيين أساسيين هما البارود والبوصلة.

لقد أصبحت الإجابة عن سؤال (ماذا حدث؟) واضحة إذن، فما حدث إنما هو صعود العلم والتكنولوجيا، وهما محركا الرخاء والازدهار. ويمكن للمرء بالطبع أن يتجاهل العلم والتكنولوجيا، لكن ذلك سيجعله عرضة للمخاطر بلا أدنى شك. فالعالم لن يقف جامداً في مكانه لأنك تقرأ نصاً مقدساً؛ وإذا لم تتفوق أنت في أحدث ما جاء به العلم والتكنولوجيا الحديثة، فإن منافسيك سيفعلون.



## التفوق في استخدام القوى الأربع

لكن كيف تمكنت أوروبا فجأة - وهي الحصان الأسود مجهول القدرات في السباق - من تجاوز الصين والعالم الإسلامي بعد قرون من الجهل؟ إن هناك عوامل اجتماعية وتكنولوجية أسهمت في صنع هذا الانقلاب الكبير.

عند تحليل تاريخ البشرية بعد عام 1500، ندرك أن أوروبا كانت مستعدة لتحقيق التطور الكبير التالي لتلك الفترة، وذلك مع انهيار النظام الإقطاعي وظهور طبقة التجار، وهبوب رياح عصر النهضة النابضة بالحياة. غير أن الفيزيائيين ينظرون إلى هذا التحول الهائل من خلال عدسات القوى الأربع الأساسية التي تحكم العالم. وهي القوى الجوهرية التي يمكنها تفسير كل شيء حولنا، بدءاً من الآلات والصواريخ والقنابل، وصولاً إلى النجوم والكون نفسه. ربما أسهم تغير النزعات الاجتماعية في تجهيز الساحة لهذا التحول، لكن التفوق في استغلال تلك القوى في أوروبا هو ما دفعها في نهاية المطاف إلى أن تكون على قمة القوى العالمية.

القوة الأولى هي قوة الجاذبية، التي تبقىنا ثابتين على الأرض، وتمنع الشمس من الانفجار، وتبقي النظام الشمسي متماسكاً. والقوة الثانية هي الكهرومغناطيسية، التي تضيء مدننا، وتمد مولداتنا وآلاتنا بالطاقة، وتشغل أشعة الليزر وأجهزة الحاسب. أما القوتان الثالثة والرابعة فهما القوى النووية الضعيفة والقوية، التي تحافظ على تماسك نوى الذرات، وتضيء النجوم في السماء، وتصنع الاشتعال النووي في مركز شمسنا. وقد تعرفت أوروبا بوضوح على تلك القوى الأربع جميعاً.

وكلما حقق الفيزيائيون فهمًا أفضل لإحدى تلك القوى، أدى ذلك إلى تغيير التاريخ البشري، وكانت أوروبا في وضع مثالي لاستغلال تلك المعارف الجديدة. فعندما شاهد إسحاق نيوتن<sup>(1)</sup> Isaac Newton تفاحة تسقط وحقق في القمر، سأل نفسه سؤالاً غير مسار التاريخ البشري إلى الأبد: إذا كانت التفاحة تسقط، فهل يسقط القمر أيضًا؟ وفي ومضة إلهام لامعة تلقاها وهو في الثالثة والعشرين من عمره، أدرك نيوتن أن القوى التي تجذب التفاحة هي نفسها القوى التي تصل إلى الكواكب والمذنبات في السماء. وأتاح له ذلك تطبيق علم الرياضيات الجديد الذي كان قد ابتكره للتو، وهو حساب التفاضل والتكامل؛ لتحديد مسارات الكواكب والأقمار، ولحل شفرة إشارات السماء لأول مرة في تاريخ البشرية. وفي عام 1687، نشر نيوتن تحفته (المبادئ) Principia، والذي يعدّه البعض أهم كتاب علمي كتبه بشر على مر العصور، ويصنف ضمن أكثر الكتب تأثيرًا على امتداد التاريخ البشري كله.

لكن الأهم من ذلك كله أن نيوتن قدم لنا طريقة تفكير جديدة، ووسيلة يمكن للمرء بواسطتها حساب حركة الأجسام المتحركة من خلال القوى. وهكذا تحررنا من عبودية التفكير في الأرواح والشياطين والأشباح؛ وبدلاً من ذلك أصبحنا ندرك أن الأشياء تتحرك بسبب قوى معروفة يمكن قياسها

(1) إسحاق نيوتن Isaac Newton: فيزيائي إنجليزي، وعالم رياضيات، وعالم فلك، وفيلسوف في علم الطبيعة، وكيميائي، وعالم باللاهوت، وهو واحد من أعظم الأشخاص تأثيرًا في تاريخ البشرية. وهو واضع أساس معظم نظريات الميكانيكا الكلاسيكية؛ فهو واضع قوانين الجاذبية العامة، وقوانين الحركة الثلاثة التي سيطرت على النظرة العلمية للعالم المادي طوال القرون الثلاثة التالية. أما نظريته الخاصة بالجاذبية فآزت الشكوك المتبقية التي ثارت حول نظرية مركزية الشمس، مما أدى إلى ظهور الثورة العلمية، وله العديد من الإنجازات التي لا يتسع المقام لذكرها هنا. (المترجم)

واستغلالها أيضاً. وأدى هذا إلى ظهور نظريات الميكانيكا لنيوتن، والتي يستطيع العلماء بواسطتها توقع سلوك الماكينات بدقة؛ وهو ما مهد بدوره الطريق لاختراع المحرك البخاري والقاطرة البخارية. وأصبح من الممكن تحليل الديناميكيات العسيرة للماكينات البخارية المعقدة بطريقة منهجية؛ موضعاً موضعاً، ورافعة رافعة، وذلك باستخدام قوانين نيوتن. وهكذا أسهم وصف نيوتن للجاذبية في تمهيد الطريق لقيام (الثورة الصناعية)<sup>(1)</sup> Industrial Revolution في أوروبا.

وبعد ذلك، في القرن التاسع عشر، وفي أوروبا أيضاً، استغل مايكل فارادي Michael Faraday وجيمس كليرك ماكسويل James Clerk Maxwell وغيرهما القوة العظمى الثانية وهي، الكهرومغناطيسية، والتي بشرت بعصر الثورة الكبرى التالية. فعندما قام توماس إديسون<sup>(2)</sup> Thomas Edison ببناء المولدات في محطة بيرل ستريت Pearl Street Station في أدنى مانهاتن، وزود أول شارع على وجه الأرض بالطاقة الكهربائية؛ فتح الباب أمام تزويد الكوكب كله بتلك الطاقة. واليوم تمكنا، من الفضاء الخارجي، أن نرى كوكب الأرض في الليل، حيث نرى قارات بأكملها مضاءة بالكهرباء. فإذا حرق أي كائن فضائي في الأرض من الفضاء

(1) الثورة الصناعية Industrial Revolution: وفيها انتشار استخدام الماكينات بدلاً من العمل اليدوي، فقد شهدت بلدان أوروبا الغربية خلال القرن الثامن عشر نهضة علمية شاملة قامت على أكتاف العلوم فتنوعت الأبحاث والتجارب لتشمل مختلف فروع العلم ولتؤدي إلى اختراعات واكتشافات مهمة كانت السبب المباشر في قيام الثورة الصناعية خلال القرن التاسع عشر. وكان لهذه الثورة أثر بالغ على الحياة الاقتصادية والاجتماعية والسياسية في أوروبا وخارجها. (المترجم)

(2) توماس إديسون Thomas Edison: مخترع أمريكي عبقري، من بين اختراعاته؛ مسجلات الاقتراع والبارق الطابع والهاتف الناقل الفحامي والميكروفون والفونوغراف، وأعظم اختراعاته على الإطلاق المصباح الكهربائي، وقد سجل إديسون باسمه أكثر من ألف اختراع. (المترجم)

الخارجي، فسيدرك على الفور أن سكان الأرض برعوا في استخدام تسخير الكهرومغناطيسية. كما أننا ندرك مدى أهمية الكهرباء ومدى اعتمادنا عليها في حال انقطاعها. ففي لحظة واحدة، نعود فجأة إلى أكثر من مائة عام في الماضي، دون بطاقات ائتمانية، أو أجهزة كمبيوتر، أو أضواء، أو مصاعد، أو أجهزة راديو، أو تليفزيون، أو إنترنت، أو محركات... إلخ.

وأخيراً، فإن قوة الطاقة النووية، التي برع الأوروبيون في تسخيرها أيضاً، تُغيّر الآن كل شيء حولنا. ولم نعد قادرين فحسب على كشف أسرار السماء والفضاء، عن طريق اكتشاف مصدر الطاقة الذي يضيء النجوم، وإنما أصبحنا قادرين كذلك على كشف الفضاء الداخلي، باستخدام تلك المعرفة في الطب من خلال التصوير بالرنين المغناطيسي MRI Magnetic Resonance Imaging، والتصوير المقطعي المحوري بالحاسب CAT Computerized Axial Tomography، والتصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني PET Positron Emission Tomography؛ والعلاج بالإشعاع Radiation Therapy؛ والطب النووي Nuclear Medicine.

ولما كانت القوى النووية تتحكم في الطاقة الهائلة الكامنة داخل الذرة، فإنه يمكن للقوى النووية في نهاية المطاف أن تحدد مصير البشرية، وما إذا كنا سنزدهر من خلال استغلال الطاقة غير المحدودة للاندماج النووي أو سيقضى علينا في جحيم نووي.

# المستقبل القريب (من الوقت الحاضر حتى عام 2030)

## أربع مراحل للتكنولوجيا

دفع مزيج الظروف الاجتماعية المتغيرة والبراعة في استغلال القوى الأربع أوروبا إلى صدارة الأمم، لكن التقنيات التكنولوجية ديناميكية ومتغيرة طوال الوقت، فهي تولد وتتطور، وتبرز وتآفل. وسيكون من المفيد، لكي نرى كيف ستتغير تقنيات معينة في المستقبل القريب، أن نرى كيف تدعن التقنيات لقوانين معينة من قوانين التطور.

عادة ما تتطور التقنيات الجماعية عبر أربع مراحل رئيسة، ويمكننا رؤية هذا في تطور ورق الكتابة، والماء الجاري، والكهرباء، وأجهزة الحاسب. ففي المرحلة الأولى، تكون منتجات التكنولوجيا نفيسة للغاية ولذا تتم حراستها بحذر وعناية. لقد كان ورق الكتابة الذي ابتكره المصريون في صورة أوراق البردي وتبعهم الصينيون في استخدامه بعد ذلك منذ آلاف السنين؛ نفيساً جداً لدرجة أن لفافة واحدة من ورق البردي كان يقوم على حراستها أعداد كبيرة من الكهنة. وقد ساعدت تلك التقنية البسيطة على قيام الحضارات القديمة وتطورها.

ودخل الورق المرحلة الثانية من مراحل التطور نحو عام 1450، عندما اخترع جوتنبرج نوعاً قابلاً للحركة من ورق الطباعة. وهو ما جعل (الدفاتر الشخصية) أمراً ممكنًا، ومن ثم تمكن الشخص الواحد من امتلاك

كتاب يحتوي معارف تضمها مئات اللفافات. فقبل زمن جوتنبرج، لم يكن في أوروبا كلها سوى 30000 كتاب فقط. وبحلول عام 1500، أصبح هناك 9 ملايين كتاب، وهي كتب عملت على تأجيج الثورة الفكرية وتخفيف النهضة.

وفي حوالي عام 1930، وصل الورق إلى المرحلة الثالثة، عندما انخفضت تكلفته إلى بنس واحد للصفحة. وهو ما جعل امتلاك مكتبة شخصية أمراً ممكناً، حيث يمكن لشخص واحد امتلاك مئات الكتب، وأصبح الورق حينها سلعة عادية تماماً تباع بالطن، وأصبح موجوداً في كل مكان وليس في مكان بعينه. والآن أصبحنا في المرحلة الرابعة، حيث أصبح الورق كالملوثة؛ فنحن جميعاً نزين عالمنا بالأوراق الملونة بجميع الألوان، والأشكال، والأحجام. ويعد الورق أكبر مصدر للنفاية الحضرية المتمدنة، وهكذا تطور الورق من كونه سلعة تحرس وتصان عن كسب إلى أن أصبح مجرد نفاية.

الأمر عينه ينطبق على الماء الجاري، ففي العصور القديمة، وفي المرحلة الأولى، كان الماء نفيساً للغاية لدرجة أن قرية كاملة كانت تتقاسم بئراً واحداً. ودام الحال كذلك لآلاف السنين، حتى بداية القرن العشرين، عندما ظهرت أنابيب السباكة الشخصية وبدأ استخدامها تدريجياً، ودخلنا بذلك المرحلة الثانية. وبعد الحرب العالمية الثانية، دخل الماء الجاري المرحلة الثالثة وأصبح زهيد الثمن ومتوافراً بسهولة للطبقة الوسطى الآخذة في الاتساع. واليوم أصبح الماء الجاري في مرحلته الرابعة، كالملوثة، إذ نراه في أشكال وأحجام وتطبيقات لا حصر لها، فنحن نزين عالمنا بالماء؛ في

صورة نافورة أو فسقية<sup>(1)</sup> أو عرض مائي.

وكذلك مرت الكهرباء بتلك المراحل الأربع نفسها. ففضل العمل الرائد لتوماس إديسون وغيره من المبدعين، كان المصنع الكامل يعمل بمصباح إضاءة واحد ومحرك كهربائي واحد في المرحلة الأولى. وبعد الحرب العالمية الثانية، دخلنا المرحلة الثانية مع ظهور مصباح الإضاءة الشخصي والمحرك الشخصي. واليوم اختفت الكهرباء؛ فهي في كل مكان وليست في مكان محدد، حتى أن كلمة (كهرباء) electricity نفسها كادت تختفي من اللغة الإنجليزية. وفي أعياد الميلاد والاحتفالات، أصبحنا نستخدم مئات المصابيح الوامضة لتزيين بيوتنا. كما أننا نفترض أن الكهرباء داخل الجدران، وموجودة في كل مكان. وأخذت الكهرباء شكل الموضة، فهي تضيء مسارح برودواي وتزين عالمنا أيضًا. وفي المرحلة الرابعة، تحولت الكهرباء والماء الجاري إلى منافع عامة؛ فهما زهيدا السعر للغاية ونحن نستهلك كثيرًا جدًا منهما، لدرجة أننا نقيس بالتر مقادير الكهرباء والماء التي تسري في بيوتنا.

وتتبع أجهزة الحاسب النمط ذاته. فالشركات التي فهِمت هذا الأمر ظلت في السوق وازدهرت؛ أما الشركات التي لم تفهمه فكادت تصل إلى حد الإفلاس. وهيمنت شركة آي بي إم IBM على المرحلة الأولى لصناعة الحاسب من خلال أجهزة الحاسب العملاقة في الخمسينيات من القرن

(1) الفسقية: حوض من الرخام ونحوه مستدير غالبًا، تَمُجُّ الماء فيه نافورة، ويكون في القصور والدائق والمبادين. والجمع: فسَاقِي. (المترجم)

العشرين. وكان جهاز الحاسب العملاق الواحد باهظ الثمن إلى حد أن 100 عالم ومهندس كانوا يتشاركون في جهاز واحد. غير أن إدارة شركة آي بي إم فشلت في فهم قانون مور وتقديره، ولذا كادت الشركة أن تفلس عندما دخلنا المرحلة الثانية في الثمانينيات من القرن العشرين، لاسيما بعد ظهور أجهزة الحاسب الشخصية.

لكن شركات تصنيع أجهزة الحاسب الشخصية تكاسلت وترهلت هي الأخرى، فقد تخيل القائمون على تلك الشركات عالماً بأجهزة كمبيوتر مستقلة منعزلة فوق كل مكتب حتى فوجئ هؤلاء ببدء المرحلة الثالثة، وهي مرحلة أجهزة الحاسب المتصلة ببعضها بعضاً عبر شبكة الإنترنت، والتي يستطيع من خلالها أي شخص أن يتفاعل مع الملايين من أجهزة الحاسب الأخرى. واليوم أصبح المكان الوحيد الذي يمكنك أن تجد فيه جهاز كمبيوتر منعزلاً غير قادر على الاتصال بأجهزة أخرى هو المتحف. وهكذا يتلخص مستقبل أجهزة الحاسب في أن تدخل في النهاية إلى المرحلة الرابعة، حيث تختفي وتظهر من جديد في صورة موضة. وسوف نزين عالمنا حينئذ بأجهزة الحاسب. أما كلمة (حاسب آلي) (computer) نفسها فسوف تختفي تدريجياً من اللغة الإنجليزية. وفي المستقبل، سيصبح أكبر مكون للنفاية المدنية هو رقائق الحاسب وليس الورق. فمستقبل أجهزة الحاسب إذن أن تختفي وأن تصبح منفعة عامة، وأن تباع كما تباع الكهرباء والماء، ولنسوف تختفي شرائح الحاسب الآلي تدريجياً في وقت تتم فيه عمليات الحساب والمعالجة (في الفضاء الإلكتروني).

وهكذا فإن تطور أجهزة الحاسب ليس سرّاً أو لغزاً غامضاً؛ فهو يتبع



المسار المعروف نفسه والمألوف تماماً والذي سلكه أسلافه، كالكهرباء، والماء الجاري، والورق.

غير أن أجهزة الحاسب وشبكة الإنترنت ما يزالان يتطوران إلى الآن. وقد سُئل عالم الاقتصاد جون ستيل جوردون John Steele Gordon عما إذا كانت هذه الثورة قد انتهت أم لا؛ فأجاب: (كلا بالطبع، ستمر مائة عام قبل أن تنتهي كلياً، تماماً مثل المحرك البخاري. أما فيما يتعلق بشبكة الإنترنت فما نزال عند النقطة التي كان الناس عندها في زمن بناء السكك الحديدية عام 1850، إنها البداية فحسب).

ولابد هنا أن نشير إلى أن التقنيات لا تصل جميعها إلى المرحلتين الثالثة والرابعة. فخذ مثلاً القاطرات، حيث دخل النقل الآلي المرحلة الأولى في بدايات القرن التاسع عشر مع ظهور القاطرات التي تعمل بطاقة البخار، وكان على كل مائة شخص أن يتشاركوا حينئذ في قاطرة واحدة. ثم دخلنا المرحلة الثانية مع ظهور (القاطرة الشخصية)، التي تشتهر باسم آخر هو (السيارة)، وذلك في بداية القرن العشرين. غير أن القاطرة والسيارة (وكلاهما في الأساس عبارة عن صندوق يمشي على قضبان أو على عجلات) لم تتغير كثيراً خلال العقود الماضية. ويمكن التغير فقط في بعض التحسينات التي تم إدخالها عليهما، مثل المحركات الأكثر قدرة والأكثر كفاءة والذكاء الإضافي. وهكذا فإن التقنيات التي لا تستطيع دخول المرحلة الثالثة والرابعة سيتم تحسينها؛ فسيتم على سبيل المثال تدعيمها بالرقائق والشرائح لتصبح أكثر ذكاءً. فبعض هذه التقنيات إذن تتطور حتى تصل إلى المرحلة الرابعة كالكهرباء، وأجهزة الحاسب

الآلي، والورق، والماء الجاري؛ في حين تتوقف تقنيات أخرى عند مرحلة وسطى، لكنها تستمر في التطور عن طريق إدخال تحسينات إضافية عليها كالرقائق الذكية والكفاءة المتزايدة.

## لماذا الفقاعات والانهيارات؟

أما اليوم، وفي أعقاب الأزمة الاقتصادية العالمية عام 2008، فإنه يمكننا سماع بعض الأصوات التي تقول إن كل هذا التقدم كان وهمًا، وإن علينا العودة إلى زمن البساطة، وإنه لا بد من وجود عيب جوهري في المنظومة كلها.

وعندما نلقي نظرة فاحصة على تاريخ البشرية، يسهل علينا تحديد الأحداث غير المتوقعة، بما فيها من تضخمات فقاعية هائلة واصطدامات مروعة تبدو كأنها ظهرت فجأة من العدم. فهي تبدو عشوائية، ونتيجة ثانوية لتقلب القدر والحماسة الإنسانية. وقد كتب المؤرخون وعلماء الاقتصاد بغزارة عن الأزمة الاقتصادية لعام 2008 في محاولة لفهمها عن طريق فحص مجموعة متنوعة من الأسباب كالطبيعة البشرية، والجشع، والفساد، وغياب التنظيم، وضعف الرؤية المستقبلية، وما إلى ذلك.

غير أن لي طريقة مختلفة في رؤية الأزمة الاقتصادية العالمية، إذ أراها من خلال عدسة العلم. فعلى المدى الطويل، ظل العلم محرك الرخاء والازدهار. وقد ذكرت (موسوعة أكسفورد للتاريخ الاقتصادي) The Oxford Encyclopedia of Economic History - على سبيل المثال - دراسات (تعزو نسبة 90 في المائة من نمو الدخل في إنجلترا والولايات

المتحدة بعد عام 1780 إلى الإبداع التكنولوجي، وليس فقط إلى تكديس رأس المال).

ولسوف نرجع ألف عام إلى الماضي المظلم دون العلم، لكن العلم لا يأتي منتظماً؛ إنما يأتي في شكل موجات. فعادة ما يتسبب ابتكار فريد لا يتكرر إلا كل مائة عام (المحرك البخاري مثلاً، أو المصباح الكهربائي، أو الترانزستور) في بدء شلال منهمر من الابتكارات الثانوية التي تصنع بعد ذلك ما يشبه انهياراً جليدياً هائلاً من الإبداعات والتطور والتقدم. ولما كان لتلك الموجات المقادير الهائلة من الثروة، فلا بد إذن أن ينعكس ذلك على الاقتصاد.

تمثلت الموجة الكبرى الأولى في طاقة البخار، التي أدت في نهاية المطاف إلى ابتكار القاطرات. وغدّت طاقة البخار الثورة الصناعية التي كان من شأنها أن قلبت المجتمع رأساً على عقب، كما أنها حققت ثروة خرافية أيضاً. لكن الثروة في النظام الاقتصادي الرأسمالي لا تكون راکدة جامدة أبداً؛ فلا بد أن يتم توجيهها إلى مكان ما. أما الرأسماليون فلا يكفون عن البحث عن الفرصة التالية، وغالباً ما يحولون تلك الثروة لاستثمارها في مشاريع أكثر خيالاً ومخاطرة وقد يحصدون أحياناً نتائج كارثية.

وفي بدايات القرن التاسع عشر، ذهب قدر كبير من الثروة الضخمة التي ولدتها طاقة البخار والثورة الصناعية إلى أسهم القاطرات في بورصة لندن London Stock Exchange. وفي الحقيقة أن فقاعة قد بدأت في التكون، وظهرت أعداد كبيرة من شركة القاطرات في بورصة لندن. كتبت فيرجينيا بوسترل Virginia Postrel، وهي كاتبة متخصصة في مجال الأعمال في

صحيفة نيويورك تايمز New York Times، تقول: (منذ قرن مضى، كانت قيمة شركات السكك الحديدية تساوي نصف قيمة الأوراق المالية المدرجة في بورصة نيويورك). ولما كانت القاطرات في طور الطفولة المبكرة حينئذ، فلم يكن ممكناً أن تستمر تلك الفقاعة، فانفجرت أخيراً، وأدت للانهار الذي حدث عام 1850، وكان أحد الانهيارات العظمى في تاريخ الأسهم. وتبع هذا الانهيار الكبير مجموعة من الانهيارات الصغرى التي ظلت تحدث كل عقد من الزمن تقريباً، والتي تسببت فيها الثروة المفرطة المتولدة عن الثورة الصناعية.

وهنا مفارقة مفادها أن نقطة الذروة في عمر السكك الحديدية كانت في ثمانينيات وتسعينيات القرن التاسع عشر؛ ومن ثم فإن انهيار عام 1850 كان ناتجاً عن حمى تخيلية بالإضافة إلى الثروة التي صنعها العلم، غير أن عملية بناء السكك الحديدية في العالم أجمع كانت أمامها عقود كثيرة جداً لتصل إلى النضج.

كتب توماس فريدمان Thomas Friedman يقول: (في القرن التاسع عشر، ازدهرت صناعة السكك الحديد في أمريكا، في شكل فقاعة ثم ما لبثت أن انهارت.. وحتى عندما انفجرت الفقاعة، فقد ترك هذا أمريكا ببنية أساسية من السكك الحديدية جعلت السفر والشحن عبر جميع أنحاء القارة الأمريكية أكثر سهولة وأقل تكلفة بكثير).

وبدلاً من أن يتعلم الرأسماليون الدرس، بدأت تلك الدورة في التكرر بعد ذلك مباشرة، وانتشرت موجة ثانية كبرى من التقنية، وكانت بقيادة ثورة الكهرباء والسيارات لإديسون وفورد. وأدت إضاءة المصانع والمنازل

بالكهرباء، وكذلك انتشار سيارة الموديل تي Model T، مرة أخرى إلى صنع ثروة هائلة. وكما هي الحال دائماً، كان لابد من توجيه الثروة الفائضة في اتجاه ما. لكن الثروة في هذه المرة ذهبت إلى سوق الأوراق المالية الأمريكية U.S. Stock Exchange، في صورة فقاعة من أسهم المنافع والسيارات. لقد تجاهل الناس درس الانهيار الكبير لعام 1850، فقد حدث ذلك في ماضٍ غابر منذ ثمانين عاماً. وفي الفترة بين عام 1900 وعام 1825، بلغ عدد شركات السيارات الناشئة 3000 شركة، وهو أمر لم تكن السوق تستطيع تحمله ببساطة. ولم يكن من الممكن أن تستمر تلك الفقاعة مرة أخرى، ولهذا السبب ولأسباب أخرى، انفجرت الفقاعة عام 1929، وتسببت فيما يعرف باسم (الكساد الكبير)<sup>(1)</sup> Great Depression.

وتكمن المفارقة هنا في أن رصف الطرق وإضاءة أمريكا وأوروبا بالكهرباء أمران لم يحدثا إلا بعد حدوث الانهيار، خلال الخمسينيات والستينيات.

وحديثاً، جاءت ثالث موجة كبرى من موجات العلوم، وذلك مع ظهور التكنولوجيا المتطورة في صورة أجهزة الحاسب، وأشعة الليزر، والأقمار الصناعية، وشبكة الإنترنت، والإلكترونيات. وكان لابد من توجيه الثروة الفائضة المتولدة عن التكنولوجيا المتطورة إلى مكان ما. وذهبت

(1) الكساد الكبير Great Depression: أزمة اقتصادية كبرى بدأت عام 1929 واستمرت حتى بداية الأربعينيات، وتعتبر أكبر وأشهر الأزمات الاقتصادية في القرن العشرين وهي مثال لما يمكن أن يحدث في القرن الحادي والعشرين. بدأت الأزمة في أمريكا، ويذكر المؤرخون أنها بدأت مع انهيار البورصة الأمريكية. وكان تأثير الأزمة مدمراً على كل الدول تقريباً؛ الفقيرة منها والغنية، وانخفضت التجارة العالمية ما بين النصف والثلاثين، كما انخفض متوسط دخل الفرد وعائدات الضرائب كذلك. (المترجم)

الثروة هذه المرة إلى العقارات، على نحو خلق فقاعة هائلة. ومع الزيادة الهائلة في قيمة العقارات، بدأ الناس في الاقتراض بضمان قيمة منازلهم، مستخدمين تلك المنازل كحاصلات ادخار، وهو ما أسرع بوتيرة تضخم الفقاعة. وعزز رؤساء البنوك منعدمو الضمير تلك الفقاعة عن طريق منح الرهون العقارية بوفرة وغزارة وكأنها ماء زهيد السعر. وتجاهل الناس مرة أخرى درس انهيار عام 1850 و 1929، اللذين حدثا منذ 80 و 160 عامًا مضت. وفي النهاية، لم يمكن استمرار تلك الفقاعة، وحدث انهيار عام 2008 ومن ثم الأزمة الاقتصادية العالمية.

كتب توماس فريدمان يقول: (لقد شهدت بدايات القرن الحادي والعشرين ازدهارًا وفقاعة، ويشهد الآن فشلًا في الخدمات المالية. لكن ما أخشاه حقًا هو أن يكون المتبقي من كل هذا إنما هو مجموعة من التجمعات السكنية الخاوية في فلوريدا والتي ما كان ينبغي قط بناؤها في الأصل، بالإضافة إلى بعض الطائرات النفاثة المستعملة التي لا يستطيع الأثرياء تحمل تكاليفها بعد الآن، وعقود اشتقاقات لا يفهمها أحد).

وعلى الرغم من كل السخافة والحماسة التي صاحبت الانهيار الحالي، فإن المفارقة المضحكة تكمن في أن ربط العالم بالشبكات سوف يحدث فعليًا بعد الانهيار الاقتصادي لعام 2008. وهكذا فإننا لم نصل بعد إلى نقطة الذروة لثورة التكنولوجيا.

ويؤدي بنا هذا إلى سؤال مفاده: ما الموجة الرابعة؟ لا يمكن لأحد أن يجزم بالإجابة عن هذا السؤال، فقد تكون تلك الموجة مزيّجًا من الذكاء الاصطناعي، وتكنولوجيا النانو، والاتصالات عن بعد، والتكنولوجيا

الحيوية. وكما هي حال الدورات السابقة، فقد يستغرق الأمر ثمانين عامًا أخرى لكي تصنع تلك التقنيات موجة مد من الثروة الهائلة الفائضة. وإننا نأمل ألا يتجاهل الناس في حوالي عام 2090 الدرس المستفاد من الأعوام الثمانين السابقة.

## منتصف القرن (من 2030 إلى 2070)

### الرابعون والخاسرون: الوظائف

مع تطور التقنيات، تحدث تغيرات حادة ومفاجئة في الاقتصاد وتؤدي في بعض الأحيان إلى تفككات اجتماعية. وهناك في أي ثورة فائزون وخاسرون؛ وسوف يصبح هذا الأمر أكثر وضوحًا بحلول منتصف القرن. فلم يعد لدينا حدّادون ولا صنّاع عربات ومركبات في كل قرية كما كان الحال قديمًا. وعلاوة على ذلك، فإننا لا نأسى لاختفاء العديد من تلك المهن. لكن السؤال الآن؛ ما المهن التي ستزدهر بحلول منتصف القرن؟ وكيف ستغير ثورة التكنولوجيا الطريقة التي نعمل بها؟

يمكننا إذن أن نحدد الإجابة جزئيًا عن طريق طرح سؤال بسيط مفاده؛ ماذا عن حدود الروبوتات؟ وكما رأينا من قبل، فهناك حجرة عثرة على الأقل تقفان في طريق الذكاء الاصطناعي وهما: التعرف على الأنماط والمنطق السليم. ومن ثم فإن المهن والأعمال التي ستظل باقية في المستقبل إنما هي، في الأساس، تلك التي لا تستطيع الروبوتات القيام بها؛ أي الأعمال التي تتطلب وجود هاتين القدرتين.

من بين عمال الوظائف اليدوية، سيكون الخاسرون هم العمال الذين يؤدون مهام روتينية متكررة (مثل عمال خطوط الإنتاج في مصانع السيارات)؛ لأن الروبوتات تتفوق في هذا المجال. وإن أجهزة الحاسب لتعطي وهماً زائفًا بأنها تمتلك ذكاءً خاصًا بها، لكن هذا مرجعه أنها



تستطيع أداء عمليات الجمع بسرعة أكبر منا - نحن البشر - ملايين المرات. إننا ننسى أن أجهزة الحاسب إنما هي مجرد آلات حاسبة معقدة متطورة وليست أكثر، وأن الأعمال النمطية المتكررة هي الأعمال التي تبرع فيها. ولهذا السبب كان بعض عمال خطوط تجميع شركات السيارات بين أول من عانوا من ثورة الحاسب الآلي، وهو ما يعني أن أي وظيفة من وظائف المصانع يمكن تقليصها إلى مجموعة من الحركات المتكررة؛ سوف تختفي في النهاية.

والمدهش أن هناك فئة كبيرة من عمال الوظائف اليدوية ستتجاوز ثورة الحاسوب بل ستزدهر أيضاً، فسوف يكون الرابحون هم أولئك الذين يؤدون أعمالاً غير متكررة تتطلب مهارة في التعرف على الأنماط. وسوف تكون هناك وظائف في المستقبل الجامعي القمامة، ولضباط الشرطة، ولعمال البناء، وللبستانيين، وللسمكية. فمن الواجب على جامعي القمامة مثلاً، لكي يستطيعوا جمع القمامة الموجودة في المنازل والشقق، أن يعرفوا على أكياس القمامة، وأن يضعوها في الشاحنة، وأن يخرجوها منها عند مقلب النفاية، فضلاً عن أن كل قطعة من القمامة تتطلب طريقة مختلفة للتخلص منها. أما بالنسبة لعمال البناء، فتتطلب كل مهمة أدوات مختلفة، ومخططات، وتوجيهات. فليس هناك موقعا بناءً متماثلان وليس هناك مهمتان متطابقتين. ويحتاج ضباط الشرطة كذلك لتحليل مجموعة متنوعة من الجرائم في مواقف مختلفة؛ كما أن عليهم فهم دوافع وأساليب المجرمين، وهو أمر يتجاوز كثيراً قدرات أي جهاز كمبيوتر. وبالمثل فإن كل حديقة أو حوض مختلفة عن غيرها من الحدائق والأحواض، وتتطلب

مهارات وأدوات مختلفة من قبل البستاني، وكذلك والسمكري. ومن بين موظفي المكاتب، سيكون الخاسرون هم أولئك الذين يقومون بأعمال الوساطة وعمليات الجرد والعد. وهو ما يعني أن الوكلاء والسماصرة والصرافين والمحاسبين الذين يعملون في المستويات الدنيا سيخرجون من العمل بأعداد كبيرة مع اختفاء الوظائف التي يقومون بها. وتسمى تلك الوظائف (احتكاك الرأسمالية)، فالمرء يستطيع الآن فعلياً شراء تذكرة طائرة عن طريق استعراض شبكة الويب بحثاً عن أفضل الأسعار، متجاهلاً وكيل السفريات.

أصدرت شركة ميريل لينش<sup>(1)</sup> Merrill Lynch، على سبيل المثال، بياناً شهيراً ذكرت فيه أنها لن تلجأ أبداً لتداول الأسهم على شبكة الإنترنت، وأنها ستظل دائماً تمارس عملية التداول بالطريقة التقليدية. وقال جون ستيفنز John Steffens، رئيس قسم العملات في الشركة: (ينبغي اعتبار نموذج الاستثمار القائم على مبدأ (افعلها بنفسك)، والمعتمد على تداول الأسهم عبر الإنترنت، تهديداً خطيراً للحياة المالية لأمريكا). ولذا كان من المهين للشركة أن أرغمتها قوى السوق على التداول عبر شبكة الإنترنت عام 1999. وكتب تشارلز جاسبارينو Charles Gasparino، من شبكة زد دي نت ZDNet الإخبارية، يقول: (نادراً ما حدث في التاريخ أن أرغمت

(1) ميريل لينش Merrill Lynch: شركة خدمات تمويلية عالمية، تقوم من خلال شبكة شركاتها التابعة والحليفة بتقديم خدمات عديدة مثل: خدمات سوق رأس المال والاستثمار والاستشارات وإدارة الثروة وإدارة الأصول والتأمين البنكي بالإضافة إلى خدمات مالية أخرى. وتعد الشركة أكبر شركة سمسرة في العالم؛ إذ يبلغ مجموع أصول عملائها 2.2 تريليون دولار. وقد استحوذ بنك أمريكا على الشركة العملاقة في صفقة تمت عام 2008 في خضم الأزمة الاقتصادية العالمية، ومن ثم لم تعد الشركة كياناً مستقلاً قائماً بذاته منذ يناير 2009. (المترجم)

الشركة الرائدة في مجال ما على إجراء تغيير شامل مفاجئ ما بين عشية وضحاها تقريباً، أو على تبني نموذج أعمال جديد عليها تماماً). ويعني هذا أيضاً أن يتم تقليص الهيكل الهرمي الإداري للشركة، فلما كان المسؤولون في أعلى المناصب يمكنهم التفاعل مباشرة مع قوة المبيعات ومندوبي الشركة في الميدان، فإن الحاجة للوسطاء والسماسة لتنفيذ الأوامر الصادرة من الإدارة العليا تصبح أقل. وفي الحقيقة، أن تلك التخفيضات قد تمت في الوظائف عندما دخلت أجهزة الحاسب الشخصية لأول مرة إلى مكاتب الشركات.

كيف سينجو الوسطاء والسماسة في المستقبل إذن؟ سيكون عليهم إضافة المزيد من القيمة إلى عملهم وتقديم السلعة الوحيدة التي لا تستطيع الآلات تقديمها وهي: المنطق السليم.

ففي المستقبل، على سبيل المثال، سوف تكون قادرًا على شراء منزل على شبكة الإنترنت من خلال ساعة يدك أو عدسة الاتصال. لكن ذلك لن يحدث، فلن يشتري أحد منزلاً بهذه الطريقة؛ لأن شراء منزل يُعدُّ إحدى المعاملات المالية الأكثر أهمية التي يقوم بها الإنسان في حياته. وللقيام بعملية شراء مهمة كشراء منزل، يحتاج المرء للتحدث مع شخص بشري يمكنه إخباره بمكان المدارس الجيدة، وأين تقل معدلات الجريمة، وكيف يعمل نظام الصرف الصحي.. إلخ. ومن أجل هذا، يحتاج المرء للتحدث إلى سمسار بارع له وزنه.

وبالمثل، فإن سماسة الأسهم الأدنى مستوى سيفقدون أعمالهم بسبب التداول على شبكة الإنترنت، لكن سماسة الأسهم الذين يقدمون نصائح

استثمار عاقلة وحكيمة ستكون هناك حاجة دائمة إليهم. وسوف تظل وظائف السمسرة آخذة في التقلص والتراجع ما لم يقدم السماسرة خدمات ذات قيمة مضافة، مثل آراء أفضل محلي الأسواق والاقتصاديين والمعرفة الخيرة للسمسرة المخضرمين. ففي عصر يتسبب فيه التداول الإلكتروني في تخفيض تكلفة تداول الأسهم بشكل هائل، لن ينجح سمسرة الأسهم إلا إذا استطاعوا أيضاً تسويق صفاتهم غير الملموسة، كالخبرة والمعرفة والتحليلات. وهكذا فإن الفائزين من بين موظفي المكاتب سيكونون هؤلاء الذين يستطيعون تقديم منطق سليم مفيد، ويعني هذا الموظفين المشاركين في العمليات الإبداعية مثل: الأعمال الفنية، والتمثيل، وسرد النكات، وكتابة البرامج، والقيادة، والتحليل، والعلوم، والإبداع؛ وهي الصفات التي (تجعلنا بشراً).

وسيحفظ العاملون في مجال الفنون بوظائفهم؛ لأن شبكة الإنترنت ذات شهية نهمة للفنون الإبداعية. فعلى الرغم من أجهزة الحاسب بارعة في محاكاة الفنون وتقليدها ومساعدة الفنانين في تحسينها، فإنها بائسة في استحداث أشكال جديدة من الفنون. إن صنع فنون تُلهم وتأسر وتثير المشاعر وتبعث القشعريرة في النفوس لتفوق كثيراً جداً قدرات أجهزة الحاسب؛ ذلك أن كل تلك الصفات تتطلب منطقاً سليماً.

وسوف يحتفظ كتاب الروايات وكتاب السيناريو وكتاب المسرحيات بأعمالهم أيضاً؛ لأن عليهم توصيل المشاهد الواقعية، والصراعات البشرية، والانتصارات والهزائم الإنسانية. كما أن محاكاة الطبيعة الإنسانية، التي تتطلب فهماً للدوافع والنوايا، أمر يفوق بكثير قدرات أجهزة الحاسب.

فأجهزة الحاسب لا تجيد تحديد ما يجعلنا نبكي أو نضحك؛ فهي نفسها لا تستطيع البكاء أو الضحك، أو حتى فهم ما هو مضحك أو ما هو مبيك. وسوف يحتفظ الأشخاص المنخرطون في العلاقات الإنسانية، مثل المحامين، بوظائفهم.

فعلى الرغم من أن المحامي الآلي يمكنه الإجابة عن الأسئلة البدائية البسيطة فيما يتعلق بالقانون، فإن القانون نفسه دائم التغير، بناءً على المعايير والأعراف الاجتماعية المتغيرة. ويتلخص جوهر تفسير القانون في الحكم - في الأساس - على القيمة، وهو ما تعجز عنه أجهزة الحاسب. فلو كان القانون صارماً وفاصلاً وذا تأويلات واضحة لا لبس فيها، لما كانت هناك حاجة للمحاكم أو للقضاة أو لهيئات المحلفين. إن الروبوت لا يستطيع أن يحل محل هيئة المحلفين؛ لأن هيئات المحلفين غالباً ما تمثل عادات مجموعة محددة من الناس وأعرافها، وتتغير تلك العادات والأعراف دائماً مع الوقت. وقد كان هذا الأمر أشد ما يكون وضوحاً عندما اضطر قاضي المحكمة العليا بوتر ستيوارت Potter Stewart ذات مرة لتعريف معنى الإباحية؛ حيث فشل في تعريفها، لكنه ختم بقوله: (إنني أعرفها عندما أراها).

علاوة على ذلك، فإن الأرجح أن استبدال الروبوتات بالنظام القضائي لن يكون قانونياً؛ لأن قوانيننا الأمريكية حافظت على قدسية مبدأ أساس مفاده أن تشكل هيئات المحلفين من نظراء لنا. ولما كان من المستحيل أن تكون الروبوتات نظراء لنا، فلن يكون قانونياً أن تحل محل نظامنا القضائي. قد تبدو القوانين - ظاهرياً - بارعة ومحددة جيداً، وذات صياغة دقيقة وصارمة ومسميات وتعريفات تبدو ملغزة وعسيرة، لكن هذا

مجرد مظهر فحسب؛ لأن تأويلات تلك التعريفات دائمة التغير. فدستور الولايات المتحدة، على سبيل المثال، يبدو كأنه وثيقة دقيقة للغاية، غير أن المحكمة العليا دائماً ما تكون منقسمة حول أسئلة مثيرة للجدل بشأنه؛ وهي مستمرة دائماً في إعادة تأويل كل كلمة وعبرة في الدستور. ويمكن رؤية الطبيعة المتغيرة للقيم البشرية بسهولة بمجرد مراجعة التاريخ، فقد قضت المحكمة العليا الأمريكية عام 1857 - على سبيل المثال - بأن العبيد لا يمكن أبداً أن يصبحوا مواطنين في الولايات المتحدة، وهو الأمر الذي تطلب حرباً أهلية وموتاً لآلاف البشر لأجل إسقاط هذا القرار.

وستظل القدرة على القيادة سلعة ذات قدر وقيمة عالية في المستقبل كذلك. فالقيادة تتضمن - ولو بشكل جزئي - جمع كل المعلومات، ووجهات النظر، والآراء المتاحة ثم اختيار الأنسب منها، بما يتفق مع أهداف معينة. وربما أصبحت القيادة أمراً في غاية التعقيد؛ لأنها تتطلب إلهام العاملين البشريين ممن لديهم نقاط قوة ونقاط ضعف خاصة بهم، وتوجيههم، وإرشادهم وفقاً لها. وتتطلب جميع تلك العوامل فهماً متطوراً للطبيعة الإنسانية، ولقوى السوق، وما إلى ذلك مما يفوق بكثير جداً قدرات أي جهاز كمبيوتر.

## مستقبل الترفيه

يعني هذا أيضاً أن صناعات بأكملها، مثل صناعة التسلية والترفيه، سوف تتعرض لتغيير عميق. فعلى سبيل المثال، كانت صناعة الموسيقى منذ زمن سحيق تعتمد على موسيقيين أفراد يتنقلون من مدينة إلى أخرى،

ويظهرون بأشخاصهم. وكان العاملون في هذا المجال في حالة تنقل دائم؛ يقيمون حفلا في إحدى البلدات ثم ينتقلون إلى البلدة التالية. لقد كانت حياتهم صعبة بالفعل، والمقابل المادي ضعيفا. وقد تغير هذا النمط العتيق عندما اخترع توماس إديسون جهاز الفونوغراف، وغير للأبد الطريقة التي نستمع بها للموسيقى. وفجأة، أصبح المطرب قادرا على إنتاج تسجيلات تباع بالملايين، وتحقيق إيرادات على نطاق لم يكن يمكن تصوره فيما مضى. وخلال جيل واحد، أصبح مطربو الروك الأثرياء الجدد في المجتمع. بل إن نجوم موسيقى الروك، وهم الذين ما كانوا ليصبحوا في جيل آخر إلا نادلين بسطاء في المطاعم، صاروا الرموز المبهجة في أوساط الشباب.

لكن صناعة الموسيقى تجاهلت -للأسف - نبوءات العلماء باليوم الذي سيتم فيه تبادل ملفات الموسيقى ببساطة عبر شبكة الإنترنت، مثل البريد الإلكتروني. وبدلاً من أن تضع هذه الصناعة أساساً لكيفية كسب المال عن طريق البيع عبر الشبكة، حاولت مقاضاة الشركات الناشئة التي تقدم ملفات الموسيقى بتكلفة أقل بكثير من تكلفة الأسطوانات المدججة. وكان هذا أشبه بمحاولة دحر أمواج المحيط. ولعل هذا الإهمال هو سبب الاضطراب الحالي في صناعة الموسيقى.

(غير أن الأمر الطيب في ذلك أن المطربين المجهولين يمكنهم الآن الصعود إلى القمة من دون الحاجة لمواجهة الرقابة الفعلية لشركات الموسيقى الكبرى التي كانت في الماضي هي من يحدد من سيكون نجم الروك القادم. لذا فإن كبار الموسيقيين سيتم اختيارهم في المستقبل بصورة أكثر ديمقراطية، من

خلال قوى سوقية وتقنية تتيح المشاركة للجميع، وليس بواسطة المديرين التنفيذيين في شركات الموسيقى).

وتواجه الصحف أيضًا معضلة مشابهة. ففي الوضع التقليدي المعتاد، يمكن للصحف أن تعتمد على تدفق ثابت من العوائد من خلال الإعلانات، خاصة في قسم الإعلانات المبوبة. ولم يكن تدفق العوائد يأتي في المقام الأول من شراء الصحيفة أو الدورية نفسها، وإنما من إيرادات الإعلانات التي تحتويها صفحاتها. لكن الآن أصبح بمقدورنا تحميل أخبار اليوم مجاناً، ونشر الإعلانات على مستوى الأمة عبر مجموعة من مواقع الإعلانات. ونتيجة لذلك، يتقلص حجم وتوزيع الصحف في جميع أنحاء البلاد.

لكن يبدو أن هذه العملية ستتوقف عند هذا الحد. فهناك جلبة شديدة على شبكة الإنترنت، إذ يخطب مدعو القدرة على التنبؤ، والمصابون بجنون العظمة، في جماهيرهم في محاولة لطرح أفكار غريبة، إلى حد أن الناس في النهاية سيقدرّون سلعة أخرى جديدة، وهي: الحكمة. والحقائق العشوائية بالطبع لا ترتبط بالحكمة. لذا سيسأم الناس في المستقبل تبجح المدونين المجانين وصخبهم، ويبحثون عن مواقع محترمة توفر سلعة الحكمة نادرة الوجود.

وكما قال عالم الاقتصاد هاميش ماكراي Hamish McRae: (عملياً، الجزء الأعظم من تلك (المعلومات) مجرد نفاية؛ إنها المكافئ الثقافي لمصطلح البريد التافه). ويزعم ماكراي أن: (حسن التقدير سيظل يحظى بتقدير كبير: فالمحللون الماليون الناجحون مثلاً هم، كمجموعة، أعلى الباحثين أجراً في العالم كله).



## المصفوفة

لكن ماذا عن ممثلي هوليوود؟ تُرى سيجد الممثلون أنفسهم في صفوف العاطلين عن العمل، بدلاً من كونهم مشاهير شباك التذاكر وحديث المجتمع؟ مؤخرًا، كان هناك تقدم كبير في محاكاة أجهزة الحاسب للجسد البشري، بحيث تبدو شبه حقيقية. فالشخصيات المتحركة المصنوعة بواسطة الحاسب لها الآن سمات ثلاثية الأبعاد وظلال. فهل سيصبح الممثلون والممثلات موضة مهجورة إذن في وقت قريب؟

ليس على الأرجح. فهناك مشكلات جوهرية تواجه محاولة محاكاة الوجه البشري بواسطة الحاسب. لقد طور البشر في الماضي السحيق قدرة مذهلة عجيبة على تمييز وجوه غيرهم من البشر لأن بقاءنا على قيد الحياة كان يعتمد على هذا. فقد كان على البشر أن يحددوا في لمح البصر ما إذا كان شخص ما صديقًا أم عدوًا. وفي غضون ثوان، كان عليهم أن يحددوا بسرعة عمر الشخص، وجنسه، ومدى قوته، وشعوره نحونا. وهؤلاء الذين لم يتمكنوا من فعل هذا ببساطة لم يتمكنوا من النجاة والبقاء على قيد الحياة لتوريث جيناتهم للأجيال التالية. ومن هنا، فإن المخ البشري يكرس قدرًا هائلًا من قدرته على المعالجة في قراءة وجوه الناس. وفي الحقيقة، عبر فترات طويلة جدًا من تاريخ تطورهم، كان البشر يتواصلون - قبل أن يتعلموا التحدث - من خلال الإيماءات ولغة الجسد، وكان جزء كبير من قدرة مخنا مكرسًا لاكتشاف إشارات الوجه. ولا شك أن أجهزة الحاسب التي تواجه صعوبة بالغة في التعرف على الأشياء البسيطة من حولها، تواجه صعوبة أكبر كثيرًا في إعادة تشكيل وجه بشري واقعي.

فحتى الأطفال يعرفون على الفور ما إذا كان الوجه الذي يرونه على شاشة السينما أو التلفزيون وجهاً بشرياً حقيقياً أو محاكاة مصنوعة بأجهزة الحاسب (وبالطبع يعود هذا إلى أسلوب رجل الكهف. ولو أننا خُيرنا بين مشاهدة فيلم حركة واقعي يقوم ببطولته الممثل المفضل لدينا وبين مشاهدة فيلم حركة كرتوني، فإننا لا زلنا نفضل الخيار الأول).

وعلى النقيض، نجد أن محاكاة الجسد البشري بواسطة الحاسب أسهل كثيراً. فعندما تخلق هوليوود تلك الوحوش الواقعية والأشكال الخيالية في أفلامها، فإنها تستخدم طريقاً مختصراً، إذ يرتدي أحد الممثلين حلة ضيقة جداً تحتوي على مستشعرات عند مفاصلها. وعندما يتحرك الممثل أو يرقص، ترسل هذه المستشعرات إشارات إلى جهاز كمبيوتر يقوم بعد ذلك بخلق شكل متحرك يؤدي تلك الحركات نفسها بالضبط، كما حدث في فيلم (آفاتار) Avatar.

وقد تحدثت ذات يوم في مؤتمر برعاية معمل ليفرمور الوطني Livermore National Laboratory، حيث يتم تصميم الأسلحة النووية، وعلى العشاء كنت جالساً إلى جوار شخص من العاملين في فيلم (المصفوفة) The Matrix. وقد اعترف لي بأن القائمين على الفيلم اضطروا لاستخدام قدر هائل من الوقت في العمل على أجهزة الحاسب لصنع المؤثرات الخاصة المبهرة التي احتواها الفيلم. وقال لي إن أحد أصعب مشاهد الفيلم اقتضى منهم بناء مدينة خيالية كاملة أثناء مرور طائرة هليكوبتر من فوقها. وأضاف أنه مع ما يكفي من وقت العمل على الحاسب، أمكن إنشاء تلك المدينة الخيالية. لكنه أقر بأن محاكاة وجه بشري واقعي كان أمراً

يتجاوز قدراته. وهذا لأنه عندما يصطدم شعاع من الضوء بوجه بشري، فإنه يتشتت في جميع الاتجاهات؛ ولا بد من تعقب كل جسيم من الضوء بواسطة الحاسب. وهكذا، فإن كل نقطة ذرة من جلد الوجه البشري لا بد من وصفها بواسطة دالة رياضية معقدة للغاية، وهو صدام حقيقي في رأس أي مبرمج كمبيوتر.

وأذكر أنني علقت على ذلك بقولي إن هذا يشبه إلى حد كبير فيزياء الطاقة العالية، وهي مجال تخصصي. ففي أجهزة تحطيم الذرات، نقوم بصنع شعاع قوي من البروتونات التي تصطدم بهدف ما، مخلفةً وابلاً من المخلفات التي تتبعثر في كل الاتجاهات. ومن ثم نستخدم دالة رياضية (تسمى دالة عامل التشغيل) تصف حالة كل جسيم.

وقد سألته شبه مازح حول ما إذا كان هناك علاقة بين الوجه البشري وبين فيزياء الطاقة العالية؟ فأجابني بالإيجاب. فأجهزة الحاسب التي تقوم بالمحاكاة تستخدم الأسلوب عينه الذي تستخدمه فيزياء الطاقة العالية لخلق الوجوه التي نراها في أفلام السينما! والواقع أنني لم أدرك أبداً من قبل أن الصيغة المألوفة التي نستخدمها نحن علماء الفيزياء النظرية يمكن في يوم من الأيام أن تحل مشكلة محاكاة الوجه البشري. وعلى أي حال، فإن حقيقة قدرتنا نحن البشر على التعرف على الوجه البشري تشبه الطريقة التي نستخدمها نحن الفيزيائيون في تحليل الجسيمات دون الذرية.

# المستقبل البعيد (من 2070 إلى 2100)

## مدى تأثر الرأسمالية

تلك التقنيات الجديدة التي ناقشناها في هذا الكتاب في غاية القوة، حيث إنها بحلول نهاية القرن سوف تؤثر على الرأسمالية نفسها. إن قواعد العرض والطلب هي ذاتها لم تتغير، لكن بزوغ العلم والتكنولوجيا غير مفهوم الرأسمالية الذي وضعه آدم سميث<sup>(1)</sup> Adam Smith بعدة طرق مختلفة، بداية من الطريقة التي يتم توزيع البضائع بها وصولاً إلى طبيعة الثروة نفسها. وفيما يلي بعض أهم الطرق المباشرة التي تأثرت بها الرأسمالية:

## الرأسمالية المثالية

تعتمد الرأسمالية عند آدم سميث على قوانين العرض والطلب: تستقر الأسعار عندما يكون المعروض من أي سلعة متفقاً مع الطلب عليها. فإذا كانت سلعة ما غير متوفرة والطلب عليها زائد، فإن سعرها يرتفع. غير أن المستهلك والمنتج لديهما فهم جزئي غير مكتمل لقانون العرض والطلب، وبالتالي فإن الأسعار يمكن أن تتفاوت بشدة من مكان إلى آخر. لذا فإن الرأسمالية عند آدم

(1) آدم سميث Adam Smith: فيلسوف أسكتلندي، رائد في الاقتصاد السياسي، وهو مؤلف لعدة كتب، منها (نظرية المشاعر الأخلاقية) و(ثروة الأمم). وهذا الكتاب الأخير عادة ما يعتبر من أعظم ما أبدع وأول عمل يتناول الاقتصاد الحديث. ويعتبر آدم سميث على نطاق واسع أبو الاقتصاد الحديث. (المترجم)

سميث لم تكن مثالية. بيد أن هذا سيتغير بالتدريج في المستقبل. وتصبح (الرأسمالية المثالية) ممكنة عندما تكون لدى المنتج والمستهلك معرفة تامة بالسوق، وبالتالي تتحدد الأسعار على نحو مثالي. وفي المستقبل، سوف يستعرض المستهلكون - على سبيل المثال - شبكة الإنترنت عبر عدسات اتصالهم، ويحظون بمعرفة كاملة بجميع الأسعار المقارنة. ويستطيع المرء الآن بالفعل البحث على الإنترنت لمعرفة أفضل أسعار تذاكر الطيران. وسوف ينطبق هذا في النهاية على جميع المنتجات التي تباع في العالم. وعندها، سوف يعرف المستهلكون كل شيء عن المنتجات، من خلال عدسات، أو شاشات حائطية، أو أجهزة الهاتف المحمول. فإذا دخل متجر بقالة مثلاً، سوف تستعرض المنتجات المتنوعة المعروضة. ومن خلال الاتصال بشبكة الإنترنت عبر عدسة الاتصال الخاصة بك، ستحدد على الفور ما إذا كان المنتج الذي تراه معروضاً يمثل صفقة رابحة أم لا. وسوف تنتقل الميزة إلى المستهلكين لأنهم سيعرفون على الفور كل شيء عن المنتج؛ تاريخه، وسجل أدائه، وسعره بالنسبة لمنتجات أخرى، ونقاط قوته وضعفه. وسوف تكون لدى المنتج أيضاً حياً خفية، كاستخدام عملية التنقيب عن البيانات بغرض فهم رغبات واحتياجات المستهلكين، ومسح شبكة الإنترنت لمعرفة أسعار السلع. وهذا من شأنه أن يزيل الكثير من الغموض والحاجة للتخمين في عملية تحديد الأسعار. لكن في الأساس، المستهلك هو صاحب الميزة، وهو من سيتمكن فوراً من اكتساب معرفة مقارنة لأي منتج، وهو من سيطلب أرخص الأسعار. وعلى المنتج بعد ذلك أن يستجيب للمطالب دائمة التغير للمستهلكين.

## من الإنتاج واسع النطاق إلى التخصيص الفردي واسع النطاق

في المنظومة الحالية، يتم إنتاج السلع على نطاق واسع. ويشتهر عن هنري فورد أنه قال ذات مرة إن المستهلك يمكنه الحصول على السيارة موديل تي بأي لون يريد، طالما كان هو اللون الأسود. وأدى الإنتاج واسع النطاق إلى تخفيض الأسعار بشدة، وحل محل النظام القديم عديم الكفاءة القائم على البضائع المصنوعة يدوياً. وسوف تغير ثورة الحاسب كل هذا الأمر.

فاليوم، إذا رأى عميل ما ثوباً بشكل ولون مثاليين بالنسبة له لكن مقاسه لا يناسبه، لا تتم صفقة البيع. لكن في المستقبل، سوف يتم تخزين قياساتنا ثلاثية الأبعاد بدقة في بطاقاتنا الائتمانية أو محفظاتنا. فإذا كان مقاس ثوب أو لباس من أي نوع لا يناسبنا، فسيمكنك إرسال بريد إلكتروني بقياساتك إلى المصنع ليقوم بإنتاج الثوب الذي تريده بالمقاس الذي تريده بشكل فوري. في المستقبل، سوف يناسبك أي شيء.

إن عملية التخصيص الفردي اليوم أمر غير عملي لأنه من المكلف جداً صنع منتج جديد لعميل واحد فقط. لكن عندما يكون الجميع متصلين بشبكة الإنترنت، مما في ذلك المصنع، حينها يمكن صنع المنتجات المخصصة بنفس سعر العناصر التي تنتج على نطاق واسع.

## التقنية الجماعية كمنفعة عامة

عندما تصبح التقنيات واسعة الانتشار، مثل الكهرباء والماء الجاري، تتحول في نهاية المطاف إلى منافع عامة. ومع تسبب الرأسمالية في تخفيض الأسعار وزيادة المنافسة، سوف تباع تلك التقنيات كمنافع عامة؛ أي أننا

لن نبالي من أين تأتي، وسوف ندفع مقابلها فقط عندما نحتاجها. والأمر ذاته ينطبق على عملية الحوسبة. فسوف تكتسب (الحوسبة السحابية)<sup>(1)</sup> cloud computing، وهي التي تعتمد بشدة على شبكة الإنترنت في إجراء معظم العمليات الحسابية، الشعبية والانتشار بالتدريج. والحوسبة السحابية تنخفض بعملية الحوسبة إلى مجرد منفعة؛ أي شيء ندفع مقابلها فقط عندما نحتاجه، ولا نفكر فيه عندما لا نحتاج إليه.

ويختلف هذا عن الموقف الذي نجده اليوم، حيث يقوم معظمنا بعملية الكتابة على الحاسب، أو معالجة الكلمات، أو الرسم على جهاز كمبيوتر سطحي أو محمول، ثم نتصل بشبكة الإنترنت عندما نريد البحث عن المعلومات. ففي المستقبل، سوف يمكننا تدريجياً التخلي عن الحاسب كلياً، والوصول لجميع المعلومات التي نريدها على شبكة الإنترنت مباشرة، ومن ثم ندفع فقط مقابل الوقت الذي قضيناه. وهكذا، تصبح الحوسبة منفعة تقاس بالكم، مثل الماء والكهرباء. سوف نعيش في عالم تتسم فيه أجهزتنا، وأثاثنا، وملابسنا، وما إلى ذلك بالذكاء، وسوف نتحدث إلى تلك الأشياء عندما نحتاج إلى خدمات معينة. فاشاشات الإنترنت ستكون مخفية في كل مكان، وستظهر لوحات المفاتيح متى احتجنا إليها. ولنسوف تحل الوظيفة نفسها محل كيان الحاسب. وهكذا، وعلى نحو يدعو للسخرية، سوف تتسبب ثورة الحاسب في جعل أجهزة الحاسب تختفي في السحاب.

(1) الحوسبة السحابية cloud computing: مصطلح يشير إلى نصوص المصادر الحاسوبية المتوفرة تحت الطلب عبر الشبكة؛ ومن ثم يمكن مقارنتها بمصدر للكهرباء أو الغاز مثلاً. ويتم فيها توفير الخدمات للمستخدمين في صيغة سلسلة مستاعاة ليتم فهمها بسهولة ويسر، من دون حاجتهم إلى معرفة كيفية توفير مثل تلك الخدمات. (المترجم)

## استهداف العملاء

تاريخياً، كانت الشركات تبث إعلاناتها عبر صفحات الجرائد، والراديو، والتلفزيون... إلخ، من دون أدنى فكرة في الغالب عن الأثر الذي تحدثه تلك الإعلانات. وكانت لا تستطيع بعد ذلك حساب مدى فعالية الحملة الإعلانية إلا من خلال زيادة حجم المبيعات. لكن في المستقبل، سوف تعرف الشركات فوراً عدد الأشخاص الذين قاموا بتحميل أو استعراض منتجاتها. فلو تمت استضافتك في موقع راديو يتم بثه على شبكة الإنترنت مثلاً، فمن السهل أن تعرف بالضبط كم عدد الناس الذين استمعوا إليك. وسوف يتيح هذا للشركات توجيه الجماهير لمواصفات مخصصة.

(غير أن هذا يثير مسألة أخرى، وهي: مسألة الخصوصية التي تتسم بالحساسية، والتي ستكون إحدى أكبر القضايا إثارة للجدل في المستقبل. ففي الماضي، كانت هناك مخاوف من أن يؤدي عصر الحاسب لظهور فكرة (الأخ الأكبر) Big Brother. وفي رواية جورج أورويل<sup>(1)</sup> George Orwell التي تحمل عنوان (1984)، يسيطر نظام شمولي على كوكب الأرض كله، متسبباً في مستقبل شيطاني ينتشر فيه الجواسيس في كل مكان، وتقمع كل الحريات، وتأخذ الحياة شكل سلسلة لا نهاية لها من الإهانات والمذلة. وعند مرحلة معينة، ربما كانت شبكة الإنترنت قد تطورت لتصبح آلة تجسس متغلغلة ومنتشرة في كل مكان. غير أنه في عام 1989،

(1) جورج أورويل George Orwell: كاتب وروائي بريطاني. وهذا الاسم هو الاسم المستعار له الذي اشتهر به. وقد تأثر منذ طفولته بكتابات جورج برنارد شو وسومرست موم، وقرأ أعمال إتش. جي. ويلز. وتعد روايته (1984) من أشهر أعماله وأكثرها أهمية. (المترجم)



وبعد تفكك الكتلة الشيوعية، فتحت مؤسسة العلوم الوطنية National Science Foundation الشبكة، وحولتها من أداة عسكرية في الأساس إلى أداة تربط بين الجامعات، بل والكيانات التجارية، وهو ما أدى في النهاية إلى انتشار الشبكة في كل مكان خلال التسعينات. واليوم، لم تعد فكرة (الأخ الأكبر) واردة. والواقع أن المشكلة الحقيقية جاءت من (الأخ الأصغر)؛ أي من المجرمين الفضوليين المتطفلين، والصحف الصفراء، وحتى من الشركات التي تستخدم عملية البحث عن البيانات لمعرفة تفضيلاتنا الشخصية. وكما سنناقش في الفصل التالي، فإن تلك مشكلة لن تختفي، وإنما ستتطور مع الوقت. ومن المرجح جداً أن تكون هناك لعبة قط وفأر مستمرة بين مطوري البرامج الذين يكتبون برامج لحماية خصوصيتنا وأولئك الذين يكتبون البرامج لانتهاك تلك الخصوصية).

## من الرأسمالية السلعية إلى الرأسمالية الفكرية

حتى الآن، تساءلنا فقط عن الطريقة التي تغير بها التكنولوجيا طريقة عمل الرأسمالية. لكن مع كل الاضطراب الذي تخلقه ابتكارات التكنولوجيا المتطورة، ماذا سيكون الأثر الذي ستركه هذا على طبيعة الرأسمالية نفسها؟ يمكن تلخيص كل الاضطراب الذي تصنعه تلك الثورة التكنولوجية في مفهوم واحد: التحول من الرأسمالية السلعية إلى الرأسمالية الفكرية.

كانت الثروة أيام آدم سميث تقاس وفقاً للسلع. وقد تذبذبت أسعار هذه السلع، لكنها كانت تنخفض عادة على نحو ثابت طوال الـ 150

عامًا الماضية. واليوم، يمكنك أن تتناول إفطارًا لم يكن ملك إنجلترا يستطيع تناوله منذ 100 عام مضت. والأطعمة الغريبة الآتية من جميع أنحاء العالم تباع الآن على نحو عادي في المتاجر. ويرجع انخفاض أسعار السلع إلى عدة عوامل متنوعة، مثل الإنتاج واسع النطاق بشكل أفضل، والشحن في الحاويات، والتواصل، والمنافسة.

(على سبيل المثال، يواجه طلاب المدارس الثانوية صعوبة في فهم السبب الذي جعل كولومبوس يخاطر بحياته لإيجاد طريق تجاري أقصر للتوابل القادمة من الشرق. إنهم يتساءلون: لماذا لم يذهب ببساطة إلى متجر البقالة ويشتري بعض التوابل؟ والجواب بسيط أيضًا: إن التوابل والأعشاب كانت، في زمن كولومبوس، باهظة الثمن. ويرجع ذلك إلى أنها كانت تستطيع التغطية على مذاق الطعام الفاسد، إذ لم تكن هناك ثلاجات في تلك الأيام. وأحيانًا، حتى الملوك والأباطرة كانوا يضطرون لتناول الطعام الفاسد على العشاء. كذلك لم تكن هناك سيارات تبريد، أو حاويات، أو سفن لحمل التوابل عبر المحيطات. ومن ثم، فقد كانت تلك السلع عالية القيمة إلى حد جعل كولومبوس يغامر بحياته للحصول عليها، رغم أنها تباع بأسعار زهيدة اليوم).

وما يحل محل الرأسمالية السلعية الآن هو الرأسمالية الفكرية. ويشتمل رأس المال الثقافي تحديدًا على ما لا تستطيع آلات الروبوت والذكاء الاصطناعي تقديمه، وهو: التعرف على الأنماط والمنطق السليم.

وكما قال ليستر ثورو Lester Thurow من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا ذات مرة: (اليوم، المعرفة والمهارات هي المصادر الوحيدة

الميزة المقارنة.. إن وادي السليكون والطريقة 128 في أمريكا يحتفظان بمكانتهما ببساطة لأن فيهما تكمن قوة المخ. فليس هناك شيء آخر يساند هما).

لكن لماذا يهز هذا التحول التاريخي أساس الرأسمالية؟ ببساطة شديدة، المخ البشري لا يمكن إنتاجه على نطاق واسع. ففي حين يمكن إنتاج الأجهزة والمعدات على نطاق واسع وبيعها بالطن، فإن المخ البشري لا يمكن إنتاجه بهذه الصورة، بمعنى أن المنطق السليم سيكون العملة الرابحة في المستقبل. وعلى عكس الحال مع السلع، لا بد من تعزيز ورعاية وتثقيف البشر من أجل خلق رأسمال ثقافي، وهو أمر يستغرق عقوداً من الجهود الفردية.

وكما يقول ثورو: (مع خروج جميع العوامل الأخرى من معادلة التنافسية، أصبحت المعرفة المصدر الوحيد للميزة التنافسية المستمرة لأمد طويل).

على سبيل المثال، سوف تصبح البرامج أكثر أهمية بكثير من المعدات والأجهزة. إذ ستباع رقائق الحاسب بكميات كبيرة مع استمرار الانخفاض الحاد في أسعارها، لكن البرامج لا بد من إنتاجها بالطريقة التقليدية القديمة؛ أي بواسطة إنسان يعمل بالورقة والقلم، ويجلس هادئاً في مقعده. فمثلاً، الملفات المخزنة على جهاز الحاسب المحمول الخاص بك، وهي التي قد تحتوي على خطط ومخطوطات وبيانات قيمة، قد تساوي مئات الآلاف من الدولارات، لكن الحاسب المحمول نفسه لا يساوي سوى بضعة مئات من الدولارات. وبالطبع، يمكن نسخ البرامج الموجودة بسهولة وإنتاجها

على نطاق واسع، لكن لا يمكن ذلك فيما يتعلق بإنشاء برامج جديدة؛ إن هذا يتطلب فكرًا بشريًا.

ووفقًا لعالم الاقتصاد البريطاني هاميش ماكري، فإنه: (في عام 1991، أصبحت بريطانيا أول بلد في العالم تحقق مكاسب من الصادرات الخفية (الخدمات) أكبر من مكاسبها من الصادرات الملموسة الواضحة).

وفي حين انخفض بشدة نصيب الاقتصاد الأمريكي القائم على التصنيع على مر العقود، فإن إيرادات القطاع الذي يشتمل على الأسهم والفكرية (أفلام هوليوود، وصناعة الموسيقى، وألعاب الفيديو، وأجهزة الحاسب، والاتصالات عن بعد.. إلخ) ارتفعت بشدة. وهذا التحول من الأسهم إلى السلع إلى الأسهم الفكرية تحول تدريجي، بدأ في القرن السابق، لكنه يتسارع مع كل عقد يمر. فقد كتب ثورو، عالم الاقتصاد في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، يقول: (بعد علاج التضخم العام، انخفضت أسعار الموارد الطبيعية بنسبة تكاد تصل إلى 60 في المئة منذ منتصف السبعينات حتى منتصف التسعينات من القرن العشرين).

وبعض الدول تفهم هذا. تأمل مثلاً الدرس الذي تعطيه لنا اليابان في حقبة ما بعد الحرب العالمية الثانية. فهي لا تمتلك موارد طبيعية ضخمة، ومع ذلك فإن اقتصادها يقف بين أكبر الاقتصادات في العالم. وثروتها اليوم هي تعبير عن اجتهاد ومثابرة ووحدة شعبها، وليس عن الموارد الطبيعية الموجودة في أرضها.

يبد أن العديد من الدول لا تدرك تلك الحقيقة الجوهرية، ولا تعد مواطنيها للمستقبل، وتعتمد بدلاً من ذلك على السلع بشكل رئيس.

ويعني هذا أن الأمم الغنية بالموارد الطبيعية لكنها لا تفهم هذا المبدأ، قد تغرق في مستنقع الفقر في المستقبل.

## ماذا عن الفجوة الرقمية؟

بعض الأصوات تشجب ثورة المعلومات، وتقول إنه سيكون هناك صدع آخذ في الاتساع بين (الأغنياء رقمياً) و(الفقراء رقمياً)؛ أي بين هؤلاء الذين يمكنهم الاستفادة من قوة الحاسب وأولئك الذين لا يمكنهم ذلك. وتلك الثورة، حسب زعمهم، سوف توسع الانشقاقات الاجتماعية، وتفتح الباب أمام تفاوتات وتباينات جديدة في الثروة يمكن أن تمزق نسيج المجتمع.

لكن تلك صورة محدودة للمشكلة الحقيقية. فمع تضاعف قوة أجهزة الحاسب كل ثمانية عشر شهراً، أصبح بمقدور الأطفال الفقراء أيضاً استخدام تلك الأجهزة. وقد شجع ضغط النظراء والأسعار الزهيدة استخدام الأطفال الفقراء لأجهزة الحاسب وشبكة الإنترنت. وفي إحدى التجارب، تم منح تمويل لشراء جهاز محمول لكل فصل دراسي. ورغم النوايا الحسنة للمشروع، كانت النظرة المنتشرة هي أنه قد فشل. أولاً، لأن الحاسب المحمول عادة ما كان يوضع في ركن الفصل من دون استخدام، غالباً لأن المعلم لم يكن يعرف كيف يستخدمه. وثانياً، لأن معظم الطلاب كانوا متصلين بأصدقائهم بالفعل عبر الشبكة، متجاهلين ببساطة ذلك الجهاز الموجود في فصولهم.

والواقع أن المشكلة الحقيقية ليست إمكانية الوصول، وإنما هي

الوظائف. فسوق العمل يمر بمرحلة تغيير تاريخي، والدول التي ستمتكن من النمو والازدهار في المستقبل هي التي تستغل هذه الحقيقة. وبالنسبة للدول النامية، فإن إحدى الاستراتيجيات هي استخدام السلع لبناء أساس سليم، ومن ثم استخدام هذا الأساس كنقطة انطلاق لصنع التحول نحو الرأسمالية الفكرية. والصين، على سبيل المثال، كانت تبني بنجاح تلك العملية المكونة من خطوتين: فالصينيون يبنون آلاف المصانع التي تنتج البضائع للسوق العالمية، لكنهم يستخدمون الأرباح المتولدة في إنشاء قطاع خدمات قائم على الرأسمالية الفكرية. وفي الولايات المتحدة، نجد أن نسبة 50 في المئة من طلاب الدكتوراه في الفيزياء مولودين خارج البلاد (ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى أن الولايات المتحدة لا تنتج بذاتها ما يكفي من الطلاب المؤهلين). ومن بين طلاب الدكتوراه الأجانب أولئك، تأتي الأغلبية من الصين والهند. وقد عاد بعض هؤلاء إلى أوطانهم لإنشاء صناعات جديدة بالكلية.

## وظائف المستوى الأول

ستكون وظائف المستوى الأول إحدى ضحايا هذا التحول. وقد قدم كل قرن من الزمان تقنيات جديدة صنعت رضوضاً موجهة في اقتصاد وحياة الناس. على سبيل المثال، كانت نسبة 65 في المئة من قوة العمل الأمريكية في عام 1850 تعمل في المزارع. واليوم، نجد 2.4 في المئة فقط يعملون في تلك المزارع. وسوف ينطبق الأمر نفسه على هذا القرن أيضاً. والثابت تاريخياً أنه تدفقت موجات جديدة من المهاجرين في القرن

التاسع عشر إلى الولايات المتحدة التي كان اقتصادها ينمو بسرعة كافية لاستيعابهم. ففي نيويورك مثلاً، استطاع المهاجرون العثور على وظائف في صناعة الملابس أو تصنيع المصابيح الكهربائية. وبغض النظر عن مستوى التعلم، فإن أي عامل كان مستعداً لأداء عمل شريف استطاع العثور على وظيفة في اقتصاد آخذ في النمو والتوسع. لقد كان الأمر شبيهاً بسير متحرك ينقل المهاجرين من أحياء الفقراء في أوروبا، ويلقي بهم وسط الطبقة الوسطى الأمريكية المزدهرة.

يقول عالم الاقتصاد جيمس جرانت James Grant: (إن الهجرة الطويلة للأبيادي والعقول من المزارع إلى المصانع والمكاتب والفصول لهي نمو للإنتاجية... والتقدم التكنولوجي هو الحصن الحامي للاقتصاد الحديث. ومرة أخرى، كان هذا صحيحاً طوال معظم فترات الـ 200 عام السابقة). واليوم، اختفى الكثير من وظائف المستوى الأول تلك. وعلاوة على ذلك، تغيرت طبيعة الاقتصاد نفسها. فقامت العديد من الشركات التي تبحث عن عمالة أرخص بتصدير العديد من وظائف المستوى الأول البسيطة إلى دول أجنبية. واختفت وظيفة عامل المصنع القديمة منذ زمن بعيد.

غير أن هناك الكثير مما يدعو للسخرية في هذا الأمر. فطوال سنوات، طالب العديد من الناس بتكافؤ الفرص في ساحة العمل، من دون محاباة أو تمييز. لكن إذا كان بالإمكان تصدير الوظائف بضغط زر واحدة، فإن ساحة العمل الآن تتسع لتضم الصين والهند. لذا فإن وظائف المستوى الأول التي كانت تلعب دور وسيلة الانتقال إلى الطبقة الوسطى يمكن الآن

تصديرها إلى أماكن أخرى. وهذا أمر مفيد للعمال خارج البلاد لأنهم يستطيعون الاستفادة من ساحة عمل ذات فرص متكافئة، لكنه يمكن أن يتسبب في تفريغ المدن الداخلية في الولايات المتحدة.

كما أن المستهلك أيضاً يستفيد من هذا، فالمنتجات والخدمات تصبح أرخص سعراً، وتزيد كفاءة الإنتاج والتوزيع عندما تكون هناك منافسة عالمية. ولا شك أن محاولة دعم المشاريع القديمة المهجورة والعمالين الذين يحصلون على أجور أكثر مما يستحقون تخلق حالة من الرضا والحمول وعدم الكفاءة. كما أن دعم الصناعات الضعيفة الفاشلة لا يؤدي سوى لتأجيل ما هو محتوم، وتأجيل ألم الانهيار، وهو في الواقع يزيد الأمور سوءاً. وهناك أمر آخر مثير للسخرية. فالعديد من الوظائف عالية الأجر التي تتطلب مهارة في قطاع الخدمات لا تجد من يشغلها بسبب نقص أعداد المرشحين المؤهلين لها. فغالباً لا يتمكن نظام التعليم من توفير العدد الكافي من الموظفين البارعين الأكفاء، لذا تضطر الشركات للتكيف مع قوة عمل أقل معرفة وتعليماً مما هو مطلوب. إن الشركات تتسول لإيجاد الموظفين الأكفاء الذين لا يخرجهم النظام التعليمي. فحتى في حالات الكساد الاقتصادي، تكون هناك وظائف شاغرة بسبب نقص العمالة الماهرة.

لكن هناك شيئاً واحداً واضحاً. ففي اقتصاد ما بعد الصناعة، اختفت العديد من وظائف عمال المصانع إلى الأبد. وقد تسلى علماء الاقتصاد، على مر السنين، باللهو مع فكرة (إعادة تحويل أمريكا إلى بلد صناعي)، إلى أن أدركوا أنه ليس في الإمكان إعادة الزمن إلى الوراء. لقد تحولت الولايات المتحدة وأوروبا بالفعل من بلدان صناعية في المقام الأول إلى



اقتصاد الخدمات منذ عقود مضت، ولا يمكن التراجع عن هذا التحول التاريخي. لقد انتهى عصر الهيمنة الصناعية إلى الأبد.

وبدلاً من ذلك، لابد من بذل الجهود لإعادة التوجيه وإعادة الاستثمار في القطاعات التي تعظم حجم الرأسمالية الفكرية. وستكون تلك إحدى أصعب المهام على الحكومات في القرن الحادي والعشرين، خاصة أنها ليس لها حلول سريعة أو سهلة. فمن ناحية، يعني هذا تعديلاً كبيراً للنظام التعليمي، لكي يمكن إعادة تدريب العاملين، ولكي لا يتخرج طلاب المدارس الثانوية ليجدوا أنفسهم ينضمون إلى صفوف عاطلين. إن الرأسمالية الفكرية لا تعني أن الوظائف ستكون متاحة فقط لمبرحي الحاسب والعلماء، وإنما لنطاق واسع من الأنشطة التي تتطلب الإبداع، والابتكار، والقيادة، والتحليل، والقدرات الفنية؛ أي: المنطق السليم. فلابد من تعليم وتدريب قوة العمل لكي تتمكن من مواجهة تحديات القرن الحادي والعشرين، وليس تجنب تلك التحديات. وبصفة خاصة، لابد من تعديل مناهج العلوم، وإعادة تدريب المعلمين ليصبحوا على صلة وثيقة بمجتمع المستقبل التكنولوجي. (من المحزن أن البعض في أمريكا ما يزال يردد القول المأثور: (القادرون يفعلون، وغير القادرين يُعلمون). وكما قال ليستر ثورو، من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، ذات مرة: (النجاح أو الفشل يعتمد على ما إذا كانت الدولة تحقق تحولاً ناجحاً نحو صناعات القدرات العقلية المستقبلية التي يصنعها الإنسان، ولا يعتمد على حجم أي قطاع اقتصادي معين).

ويعني هذا إيجاد موجة جديدة من أصحاب المشاريع المبدعين الذين

يخلقون صناعات جديدة وثروة جديدة من تلك الابتكارات التكنولوجية. ويجب إطلاق طاقة وحيوية هؤلاء الناس، كما يجب السماح لهم بدفع قيادات جديدة إلى السوق.

## الرابعون والخاسرون: الأمم

مع الأسف، لا تسلك العديد من الدول هذا المسار، وبدلاً من ذلك تعتمد حصرياً على الرأسمالية السلعية. لكن لما كانت أسعار السلع، عموماً، تنخفض طوال السنوات الـ 150 الماضية، فإن اقتصادات تلك الدول ستتكشم مع الوقت في نهاية الأمر، وستخلف عن باقي دول العالم.

غير أن تلك العملية ليست حتمية. تأمل مثلاً نموذجي ألمانيا واليابان عام 1945، عندما كان البلدان يكادان يتضوران جوعاً، وكانت مدنيهما مدمرة، وحكومتيهما منهارتين. وخلال فترة جيل واحد، تمكن البلدان من التقدم إلى قمة الاقتصاد العالمي. وانظر كذلك إلى الصين اليوم، ومعدل نمو اقتصادها المنطلق بسرعة تصل إلى ما يتراوح بين 8 و10 في المئة، على نحو يناقض 500 عام من الانحدار الاقتصادي. فالصين، وهي التي كانت في يوم من الأيام موضع سخرية واسعة باعتبارها (رجل آسيا المريض)، ستندمج في غضون سنوات من ظهور جيل آخر إلى صفوف الدول المتقدمة.

إن ما يميز تلك المجتمعات الثلاثة أن كلاً منها متماسك كأمة واحدة، وأن مواطنيها يعملون بكد واجتهاد، وأنها صنعت منتجات يسارع العالم

كله إلى شرائها. لقد ركزت تلك الأمم على التعليم، وعلى توحيد بلادها وشعوبها، وعلى نمو اقتصاداتها.

لذا كتب الصحفي عالم الاقتصاد البريطاني ماكريا يقول: (لم تعد حركات النمو القديمة - الأراضي، ورأس المال، والموارد الطبيعية - تهم كثيراً. فقد تضاءلت قيمة الأراضي لأن زيادة المحاصيل الزراعية وفرت إمكانية إنتاج الغذاء في العالم الصناعي بوفرة تفوق احتياجاته. ولم يعد رأس المال مهماً لأنه متاح على نحو يكاد يكون غير محدود من خلال الأسواق العالمية للمشاريع المولدة للدخل.. تلك الأصول الكمية، وهي التي كانت في المعتاد تجعل الدول غنية، تحل محلها الآن مجموعة من الخصائص النوعية التي تلخص في الجودة، والتنظيم، والتحفز، والانضباط الذاتي للناس الذين يتسمون بها. ويمكننا التأكد من هذا عن طريق النظر في الطريقة التي تزيد بها أهمية المهارات البشرية في التصنيع، وفي خدمات القطاع الخاص، وفي القطاع العام).

غير أنه ليست جميع الدول تتبع هذا المسار. فبعض الدول يحكمها زعماء ضعفاء فاقدو الأهلية، ويسودها الانقسام ثقافياً وعرقياً إلى حد يصل إلى العجز، ولا تنتج منتجات تحتاجها باقي دول العالم. وبدلاً من أن يستثمر حكام تلك الدول في التعليم، فإنهم يستثمرون في جيوش ضخمة وأسلحة كثيفة لإرهاب شعوبهم والحفاظ على امتيازاتهم. وبدلاً من الاستثمار في البنية الأساسية لتعجيل التحول الصناعي لبلدانهم، يمارسون الفساد والاستئثار بالسلطة لأنفسهم، وبذلك يجعلون حكوماتهم حكومات فاسدة همها جباية الضرائب من المواطنين، وليس حكومات

تعتمد على أصحاب الكفاءة والمقدرة.

ومن المحزن أن تلك الحكومات الفاسدة بددت معظم المساعدات التي يقدمها لها الغرب، على ضآلتها. ويذكر ألفين Alvin وهيدي توفلر Heidi Toffler أنه بين عامي 1950 و 2000، قدمت الدول الغنية أكثر من تريليون دولار من المساعدات للدول الفقيرة. لكنهما يقولان أيضاً: (قال لنا البنك الدولي إن نحو 2.8 مليار إنسان - أي قرابة نصف سكان العالم - ما زالوا يعيشون على ما يساوي دولارين أو أقل يومياً. ومن بين هؤلاء، هناك 1.1 مليار إنسان يعيشون في فقر مدقع أو فقر مطلق على أقل من دولار واحد يومياً).

ومن المؤكد أن الدول المتقدمة يمكنها فعل الكثير من أجل تخفيف محنة الدول النامية، بدلاً من مجرد التحدث عن المشكلة. لكن بعد القول والفعل، لا بد أن تتبع المسؤولية الأساسية عن التنمية في نهاية المطاف من قيادة حكيمة تبرز وسط تلك الدول النامية نفسها. وأساس المسألة القول المأثور القديم: (إذا أعطيتني سمكة، فستطعمني ليوم واحد؛ وإذا علمتني الصيد، فستطعمني إلى الأبد). ويعني هذا أنه بدلاً من تقديم المساعدات للدول النامية، يجب أن يكون التركيز على التعليم ومساعدة تلك الدول على تنمية صناعات جديدة لتتمكن من تحقيق الاكتفاء الذاتي.

## الاستفادة من العلم

قد تتمكن الدول النامية من الاستفادة من ثورة المعلومات. بل إنها تستطيع، من حيث المبدأ، تجاوز الدول المتقدمة في العديد من المجالات. ففي العالم المتقدم، كان على شركات الهاتف - مثلاً - أن تمد الأسلاك

إلى كل منزل أو مزرعة بتكلفة كبيرة جداً. لكن الدول النامية لا تحتاج لمد خطوط الهاتف في جميع أنحاء البلاد لأن تكنولوجيا الهاتف المحمول يمكنها التفوق في المناطق الريفية، من دون حاجة لطرق أو بنية أساسية.

كما أن الدول النامية تتمتع بميزة أنها ليست بحاجة لإعادة تأسيس بنيتها الأساسية القديمة المتهالكة. فمثلاً، تجاوز عمر شبكة مترو الأنفاق في نيويورك ولندن القرن، وكلتاها قديمة جداً وبحاجة ماسة لعمليات ترميم وإصلاح ضخمة. واليوم، ستكون تكلفة ترميم وتحديد هاتين الشبكتين المتهالكتين أعلى من تكلفة بنائهما الأصلية. وقد تقرر إحدى الدول النامية إنشاء شبكة مترو أنفاق جديدة رائعة باستخدام أحدث التقنيات، مستفيدة بذلك من التحسينات الهائلة التي أدخلت على المعادن وأساليب التشييد والتقنية. وقد تكون تكلفة إنشاء شبكة مترو أنفاق جديدة تماماً أقل كثيراً من تكلفة الشبكات التي تم إنشاؤها منذ قرن مضى.

وقد استطاعت الصين، مثلاً، الاستفادة من جميع الأخطاء التي ارتكبت في الغرب عند بناء المدن الجديدة من أساسها. ونتيجة لذلك، يتم بناء بكين وشانغهاي بجزء يسير من التكلفة الأصلية لبناء مدينة كبرى في الغرب. واليوم، تبني بكين واحدة من أكبر شبكات مترو الأنفاق وأكثرها حداثة في العالم، مستفيدة من كل تقنية الحاسب التي ابتكرها الغرب من أجل خدمة أعداد متزايدة بشكل هائل من سكان الحضر.

وتعد شبكة الإنترنت وسيلة أخرى يمكن أن تستخدمها الدول النامية لتسلك طريقاً مختصراً نحو المستقبل، متجاوزة كل الأخطاء التي ارتكبتها الغرب، خاصة في مجال العلوم. ففي الماضي، كان يتعين على العلماء في

الدول النامية الاعتماد على نظام بريدي بدائي لاستلام الدوريات العلمية التي كانت تصل عادة بعد شهور - أو حتى عام - من تاريخ النشر، هذا إن وصلت أصلاً. وكانت تلك الدوريات باهظة الثمن شديدة التخصص، لذا لم تكن تتحمل تكلفتها سوى المكتبات الكبرى فقط. وكان التعاون مع عالم من الغرب أمراً شبه مستحيل. فلابد أن تكون ثرياً، أو شديد الطموح، لكي تحظى بموقع في جامعة غربية لتعمل في ظل إرشاد عالم غربي شهير. والآن، أصبح بوسع أقل العلماء شهرة الحصول على الأبحاث العلمية بعد أقل من ثانية من نشرها على شبكة الإنترنت، من أي مكان في العالم، وبلا مقابل. وعبر شبكة الإنترنت أيضاً من الممكن التعاون مع علماء غربيين ليس هناك سابق معرفة بهم.

## المستقبل ملك لمن يريده

أبواب المستقبل مفتوحة على مصراعيها. وكما ذكرنا، فإن وادي السليكون يمكن أن يتحول إلى المنطقة التالية التي تضم صناعات عتيقة مهجورة في العقود التالية، مع انتهاء عصر السليكون وانتقال الشعلة إلى المبتكر التالي. فأى الدول ستقود المستقبل؟ في أيام الحرب الباردة، كانت القوى العظمى في العالم هي تلك الدول التي يمكنها استخدام التأثير العسكري في أنحاء العالم. غير أن تفكك الاتحاد السوفيتي وانهيائه أوضح أن الدول التي ستنهض وتتقدم إلى القمة ستكون هي الدول التي تبني اقتصاداتها، وهو ما يعتمد بدوره على تنمية ورعاية العلوم والتكنولوجيا. ما الدول التي ستؤهل لها الريادة في المستقبل إذن؟ إنها الدول التي

ستدرك جيداً تلك الحقيقة. فعلى سبيل المثال، حافظت الولايات المتحدة على هيمنتها في العلوم والتكنولوجيا رغم حقيقة أن طلاب الولايات المتحدة غالباً ما يأتون في المرتبة الأخيرة عندما يتعلق الأمر بمواد دراسية أساسية مثل العلوم والرياضيات. فقد بينت نتائج اختبار المهارة عام 1991، على سبيل المثال، أن الطلاب في سن الثلاثة عشر عاماً في الولايات المتحدة يأتون في المركز الخامس عشر في الرياضيات والمركز الرابع عشر في العلوم، أي قبل الطلاب الأردنيين مباشرة، وهم الذين كان ترتيبهم الثامن عشر في كلتا المادتين. وتؤكد الاختبارات التي أجريت سنوياً منذ ذلك الحين تلك الأرقام المحزنة. (ولابد هنا أيضاً من الإشارة إلى أن هذا التصنيف يكاد يتطابق مع عدد أيام الدراسة السنوية. فمتوسط أيام الدراسة في الصين التي جاءت في المركز الأول بلغ 251 يوماً، في حين كان متوسط عدد أيام الدراسة سنوياً في الولايات المتحدة 178 يوماً دراسياً فقط).

ويبدو كأنه في الأمر لغز، فرغم هذا التدهور في التصنيف، فإن الولايات المتحدة تؤدي باستمرار على نحو جيد دولياً في العلوم والتكنولوجيا. لكن العجب يزول عندما ندرك أن قدرًا كبيرًا من علوم الولايات المتحدة يأتي من الخارج، في صورة (هجرة العقول). إن الولايات المتحدة تمتلك سلاحًا سريًا، وهو: تأشيرة تسمى (إتش وان بي فيزا) H1B visa، وتعرف باسم تأشيرة العبقرية. فإذا أمكنك أن تبرهن على امتلاكك لمواهب، أو ثروات، أو معرفة علمية فريدة، يمكنك الخروج من صف الانتظار الطويل والحصول مباشرة على تلك التأشيرة. وقد ظل هذا مصدرًا لتجديد وإعلاء المرتبة العلمية الأمريكية. فوادي السليكون، على سبيل المثال، يضم قرابة

50 في المئة من الأجانب المهاجرين، كثيرون منهم قادمون من تايوان والهند. وعلى مستوى الولايات المتحدة بأسرها، نجد أن 50 في المئة من طلاب الدكتوراه في الفيزياء من المهاجرين الذين ولدوا خارج الولايات المتحدة. وفي الجامعة التي أعمل بها، وهي جامعة مدينة نيويورك City University of New York، يقترب هذا الرقم من 100 في المئة من المهاجرين الأجانب.

وقد حاول بعض أعضاء الكونجرس إلغاء تلك التأشيرة لأنها - بزعمهم - تقصي الأمريكيين عن بعض الوظائف، لكن هؤلاء لا يفهمون الدور الحقيقي الذي تلعبه تلك التأشيرة الخاصة. فعادة لا يكون هناك أمريكيون مؤهلون للحصول على وظائف أعلى المستويات في وادي السليكون، وهي التي كثيراً ما رأينا أنها تكون شاغرة نتيجة لذلك. وقد كانت تلك الحقيقة واضحة في ذهن المستشار الألماني السابق جيرهارد شرودر Gerhard Schroeder عندما حاول تمرير قانون هجرة مشابه لتأشيرة إتش وان بي في ألمانيا، لكن محاولته باءت بالفشل بسبب أولئك الذين زعموا أن هذا سيؤدي إلى حرمان الألمان المولودين في ألمانيا من الوظائف. ومرة أخرى، فشل المنتقدون في ألمانيا أيضاً في استيعاب فكرة أنه غالباً ما لا يكون هناك ألمان مؤهلون لشغل تلك الوظائف رفيعة المستوى التي تظل شاغرة نتيجة لذلك. إن هؤلاء المهاجرين الحاصلين على تلك التأشيرة الخاصة لا يسلبون غيرهم الوظائف، وإنما ينشئون مجالات عمل جديدة تماماً.

غير أن تأشيرة إتش وان بي ليست أكثر من إجراء مؤقت. فالولايات



المتحدة لا يسعها الاستمرار في الاعتماد على العلماء الأجانب الذين بدأ الكثير منهم في العودة إلى الصين والهند مع تحسن اقتصاد البلدين. لذا فإن استراتيجية هجرة العقول غير قابلة للاستمرار. ويعني هذا أن الولايات المتحدة ستضطر في نهاية المطاف لتعديل نظامها التعليمي العتيق المتصلب. ففي الوقت الراهن، يتدفق طلاب المدارس الثانوية سيئو الإعداد على سوق العمل والجامعات، صانعين بذلك ورطة خطيرة. وتتحسر الشركات دائماً عندما تكتشف حقيقة أنه كان عليها أن تقضي عاماً في تدريب موظفيها المعينين حديثاً لتأهيلهم للقيام بالعمل على أفضل وجه. وتأن الجامعات تحت وطأة عبء الحاجة لوضع مستويات جديدة من المناهج العلاجية لسد خلل نظام التعليم السيئ في المدارس الثانوية.

ومن حسن الحظ أن الجامعات والشركات في أمريكا تقوم في النهاية بعمل جدير بالثناء يتمثل في إصلاح الخلل الذي يصنعه نظام التعليم في المدارس الثانوية، لكن هذا بمثابة إهدار للوقت والموهبة. فلكي تظل الولايات المتحدة قادرة على المنافسة في المستقبل، لا بد أن تكون هناك تغييرات جوهرية في نظام التعليم في المرحلة الابتدائية والثانوية.

وإحقيقاً للحق، فإن الولايات المتحدة ما زالت تمتلك ميزات مهمة. فقد كنت ذات مرة في حفل في متحف التاريخ الطبيعي Museum of Natural History في نيويورك، وهناك التقيت رجل أعمال بلجيكي يعمل في مجال التكنولوجيا الحيوية. فسألته عن سبب رحيله عن بلاده، في ضوء امتلاك بلجيكا صناعة قوية متطورة في مجال التكنولوجيا الحيوية. فقال لي إن الوضع في أوروبا غالباً لا يتيح للمرء فرصة ثانية. فلما كان الناس

يعرفون من أنت، ومن هي عائلتك، فإن ارتكاب خطأ ما كفيل بالقضاء عليك. فأخطاؤك تتبعك أينما كنت. وأضاف: أما في الولايات المتحدة، فيمكنك أن تجدد نفسك، ولا يبالي الناس من كانوا أسلافك، وإنما يباليون فقط بما يمكنك تقديمه لهم الآن، اليوم. وفي النهاية، أكد أن هذا أمر مريح، وهو أحد الأسباب التي تجعل العلماء الأوروبيين ينتقلون إلى أمريكا.

## درس من سنغافورة

في الغرب، هناك تعبير يقول: (العجلة التي تصدر صريراً هي التي يتم تشحيمها). لكن في الشرق، هناك تعبير آخر يقول: (المسمار الذي يبرز رأسه يضرب بالمطرقة). وهذان التعبيران متناقضان إلى أبعد حد، لكنهما يشيران إلى بعض السمات الأساسية للفكر الغربي والشرقي.

في آسيا، غالباً ما يحقق الطلاب درجات في الامتحانات تتجاوز كثيراً درجات نظرائهم في الغرب. غير أن القدر الأكبر من التعليم في آسيا قائم على التعلم من الكتب وحفظ المعلومات عن ظهر قلب، وهو ما يوصل الطلاب إلى مستوى معين لا يمكنهم تجاوزه. فمن أجل الوصول إلى مستويات أعلى في العلوم والتكنولوجيا، لابد من توفر الإبداع، والابتكار، والخيال، وهي أشياء لا تعززها نظم التعليم في الشرق. لذا، فعلى الرغم من أن الصين يمكنها في نهاية المطاف أن تلحق بالغرب فيما يتعلق بإنتاج نسخ رخيصة من منتجات ابتكرت أصلاً في الغرب، فإنها ستظل متأخرة لعقود عن الغرب في العملية الإبداعية وابتكار منتجات جديدة واستراتيجيات جديدة.

لقد أقيمت كلمة ذات مرة في مؤتمر في المملكة العربية السعودية، وكان أحد المتحدثين الرئيسيين الآخرين لي كوان يو Lee Kuan Yew، رئيس وزراء سنغافورة لفترة طويلة امتدت من عام 1959 إلى عام 1990. وهذا الرجل بمثابة نجم لامع في أوساط الدول النامية لأنه أسهم في قيام دولة سنغافورة الحديثة، وهي التي تصنف ضمن أكثر الدول تقدماً في العلوم. وفي الواقع، فإن سنغافورة هي خامس أغنى دول العالم، وفقاً لحساب إجمالي الناتج المحلي لكل فرد. وقد أصغى الجمهور بكل انتباه لسماع كل كلمة ينطقها هذا الرمز الأسطوري.

وفي كلمته، استغرق رئيس الوزراء السابق في سرد ذكرياته المبكرة بعد انتهاء الحرب، وهي الأيام التي كان ينظر فيها لسنغافورة على أنها ميناء منعزل يشتهر في الأساس بأنشطة القرصنة والتهريب، وبالبحارة المخمورين، وغيرها من الأنشطة البغيضة. غير أن مجموعة من زملائه حلموا بمجيء اليوم الذي يتحول فيه هذا الميناء البحري الصغير لينافس الغرب. ورغم أن سنغافورة لا تمتلك موارد طبيعية ذات أهمية، فإنها كانت تمتلك مورداً آخر هو الأعظم: شعبها الذي كان يعمل باجتهاد ويتمتع بمهارة معقولة. ولقد بدأت مجموعته رحلة استثنائية، حين حولوا تلك الأمة الخاملة المنعزلة إلى محطة توليد علمية متطورة في غضون سنوات جيل واحد. وربما كانت تلك واحدة من حالات الهندسة الاجتماعية الأكثر تشويقاً على مر التاريخ.

نعم، لقد بدأ لي كوان يو وحزبه عملية منهجية لتجديد الأمة بأسرها، بالتركيز على العلم والتعليم، خاصة في مجال صناعات التكنولوجيا

المتقدمة. وفي غضون بضعة عقود فحسب، امتلكت سنغافورة مجموعة كبيرة من الفنيين أصحاب التعليم العالي، وهو ما مكن الدولة من أن تصبح إحدى الدول الرائدة في تصدير الإلكترونيات، والكيمائيات، والمعدات البيوكيماوية. وفي عام 2006، أنتجت سنغافورة نسبة وصلت إلى 10 في المئة من إجمالي إنتاج العالم من رقائق المعادن المستخدمة في صنع أجهزة الحاسب.

وقد أقر لي كوان يو بأنه كانت هناك عدة مشكلات تعترض طريق تحديث بلاده. فمن أجل فرض النظام الاجتماعي، كان لابد من تطبيق قوانين صارمة تحظر كل شيء، بداية من البصق في الشارع (وهي جريمة يعاقب عليها القانون بالجلد) حتى تجارة المخدرات (التي يُعاقب عليها بالإعدام). لكن يو لاحظ شيئاً مهماً آخر. لقد اكتشف أن كبار العلماء متحمسون لزيارة سنغافورة، غير أن قليلاً منهم يقفون فيها. وفيما بعد، اكتشف أحد أسباب ذلك: لم تكن هناك عناصر متعة وجذب ثقافية تجعلهم يقفون في سنغافورة. وهكذا برزت في ذهنه الفكرة التالية: تعزيز المزايا الثقافية الثانوية للدولة الحديثة بشكل مقصود (حفلات البالية، و فرق الأوركسترا السيمفونية، وما إلى ذلك). وذلك لكي يغرس كبار العلماء جذوراً لهم في سنغافورة. وخلال وقت قصير للغاية، كانت المنظمات والأحداث الاجتماعية تنشأ وتقام في جميع أنحاء البلاد لإغراء صفوة العلماء وجعلهم يستقرون فيها.

ولاحقاً، أدرك يو أيضاً أن الأطفال السنغافوريين يكررون على نحو عمياني الكلمات التي يلقيها عليهم معلموهم، بدلاً من أن يفحصوا

المعارف التقليدية ويراجعوها ويبتكروا أفكاراً جديدة. لقد أدرك أن الشرق سيظل يتبع الغرب إلى الأبد طالما كان علماؤه لا يستطيعون شيئاً سوى تقليد الآخرين. لذا بدأ ثورة في التعليم، فكان ينتقي الطلاب المبدعين، ويتيح لهم حرية السعي وراء تحقيق أحلامهم بقدر ما يستطيعون. فعندما أدرك أن طلاباً مثل بل جيتس Bill Gates أو ستيف جوبز Steve Jobs سيقهرون بواسطة النظام التعليمي الخانق في سنغافورة، طلب من معلمي المدارس التعرف بطريقة منهجية على عباقرة المستقبل الذين يستطيعون تجديد وإحياء اقتصاد البلاد بواسطة خيالهم العلمي.

إن الدرس السنغافوري قد لا يصلح لجميع الدول، فسنغافورة دولة صغيرة بحجم مدينة تستطيع فيها مجموعة صغيرة من الحاملين أصحاب الرؤى ممارسة عملية بناء الدولة بشكل منظم وفي ظل رقابة وسيطرة. كما أن أحداً لا يريد أن يتعرض للجلد بسبب البصق في الشارع. غير أن هذا النموذج يبين ما يمكن للأُم عمله إذا كانت ترغب في القفز بصورة منهجية مدروسة إلى مقدمة عصر ثورة المعلومات.

## تحدي المستقبل

قضيت بعض الوقت ذات مرة في معهد الدراسات المتقدمة Institute for Advanced Study التابع لجامعة برنستون Princeton University، وتناولت الغداء مع عالم الفيزياء فريمان ديسون Freeman Dyson. وفي أثناء ذلك، بدأ ديسون يحكي ذكريات حياته المهنية الطويلة في العلوم، ثم ذكر لي حقيقة مزعجة. فقبل الحرب العالمية الثانية، عندما كان طالباً

شاباً بالجامعة في المملكة المتحدة، وجد أن ألمع العقول البريطانية يديرون ظهورهم للعلوم، مثل الفيزياء والكيمياء، ويفضلون عليها الأعمال المربحة في مجال المال والبنوك. وفي حين كان الجيل السابق يصنع الثروة في صورة مصانع كهربائية وكيمائية، ويبتكر آلات كهربائية ميكانيكية جديدة، أصبح الجيل التالي منغمساً في الاستمتاع بالتدليك وإدارة أموال الآخرين. وقد تألم فريمان لرؤية تلك العلامة على انحدار الإمبراطورية البريطانية. وما كان لإنجلترا أن تحافظ على مكانتها كقوة عالمية عظمى بينما قاعدتها العلمية تنهار وتتفكك.

ثم قال لي شيئاً جذب انتباهي بشدة.

إنه يرى الأمر ذاته يتكرر لثاني مرة في حياته. فأصحاب أفضل العقول في جامعة برنستون مثلاً لم يعودوا يعالجون المشكلات العسيرة في الفيزياء والرياضيات، وإنما انجذبوا إلى أعمال كالاستثمارات البنكية. وفي هذه المرة أيضاً، من وجهة نظره، قد تكون تلك علامة على الانحدار، حيث لا يستطيع رواد المجتمع الاستمرار في دعم الابتكارات والتقنيات التي جعلت مجتمعهم مجتمعاً عظيماً.

وهذا هو التحدي الذي نواجهه في المستقبل.



## الفصل الثامن





## مستقبل البشرية الحضارة الكوكبية

«إن هؤلاء الذين يحيون هذه الأيام يحيون وسط ما يمكن اعتباره القرون الثلاثة

أو الأربعة الأكثر استثنائية في التاريخ البشري»

- جوليان سيمون<sup>(1)</sup>

(بلارؤية، يجمع الشعب)

- مثل

عاشت الآلهة، في الميثولوجيا، في السماء الرائعة المقدسة، في سمو عن  
الشؤون التافهة للبشر الفانين. عاشت الآلهة الإغريقية بمرح وسرور في  
النطاق المقدس لجبل الأوليمبوس، فيما كانت الآلهة الإسكندنافية التي  
قاتلت من أجل الشرف والمجد الأبدي تحتفل بتناول الطعام في قاعات  
الولائم المقدسة مع أرواح المقاتلين الذين سقطوا في القتال. لكن إذا كان  
قدرنا هو امتلاك قوى الآلهة بحلول نهاية القرن، فما الشكل الذي ستبدو  
عليه حضارتنا عام 2100؟ وإلى أين سيؤدي كل ذلك الإبداع التكنولوجي  
بحضارتنا البشرية؟

(1) جوليان سيمون Julian Simon: كان أستاذًا لإدارة الأعمال في جامعة ميريلاند وزميل معهد كاتو في وقت وفاته. كتب سيمون العديد من الكتب والمقالات في مجال الاقتصاد، وركز على كيفية الاستفادة من الموارد الطبيعية والنمو السكاني المستمر. (المترجم)

إن جميع الثورات التكنولوجية الواردة في هذا الكتاب لتؤدي إلى نقطة واحدة هي: قيام حضارة كوكبية، وربما كان هذا التحول هو الأعظم في تاريخ البشرية. وفي الحقيقة أن هؤلاء الذين يعيشون اليوم هم أكثر من ساروا على سطح هذا الكوكب أهمية؛ لأنهم هم من سيحددون ما إذا كنا سنحقق هذا الهدف أو ننحدر إلى حالة من الفوضى. ولعل هناك 5000 جيل من أجيال البشر ممن عاشوا على سطح كوكب الأرض منذ أول ظهور للبشر في أفريقيا منذ نحو مئة ألف عام مضت، ومن هذه الأجيال كذلك، الأجيال التي تعيش في هذا القرن؛ لعلها جميعاً هي التي ستقرر مصير البشرية في نهاية المطاف.

وما لم تقع كارثة طبيعية أو حماقة مأساوية مفاجئة، فإننا سندخل حتماً تلك المرحلة من تاريخنا الجمعي، ويمكننا أن نلاحظ هذا بأكثر قدر ممكن من الوضوح عند تحليل تاريخ الطاقة.

## تصنيف الحضارات

عندما يكتب المؤرخون المحترفون التاريخ، فإنهم ينظرون إليه من خلال عدسات التجربة الإنسانية والحماقة والطيش، أي من خلال مآثر الملوك والملكات، ويزوغ الحركات الاجتماعية، وتوالد الأفكار. وعلى النقيض، فإن الفيزيائيين ينظرون إلى التاريخ من منظور مختلف تمامًا.

يصنف الفيزيائيون الأشياء - بما في ذلك الحضارات الإنسانية - من خلال مقدار الطاقة المستهلكة، لكننا عند تطبيق هذا المبدأ على التاريخ الإنساني، نلاحظ أنه عبر آلاف لا حصر لها من السنين، كانت طاقة البشر

مقتصرة على خمس قدرة الحصان، وهي قوة أيدينا العارية، ومن ثم عشنا حياة ترحال في قبائل صغيرة متجولة تهيم بحثاً عن الطعام في بيئة قاسية عدائية. ولعصور طويلة، لم يكن هناك فارق كبير بين البشر والذئاب. ولم تكن هناك سجلات مكتوبة، وإنما مجرد حكايات تروى من جيل إلى جيل حول نيران مخيمات منعزلة. كانت الحياة قصيرة ووحشية، تتراوح ما بين ثمانية عشر عاماً إلى عشرين عاماً. وكان إجمالي ثروة الإنسان يتكون فقط مما يمكنه حمله على ظهره والتنقل به؛ وكان الإنسان آنذاك يعيش معظم فترة حياته وهو يشعر بألم الجوع المزعج. وبعد موته، لم يكن يترك أي أثر يدل على أنه عاش فوق سطح هذا الكوكب.

لكن منذ مئة ألف عام مضت، وقع حدث مدهش أطلق شعلة الحضارة؛ حيث انتهى العصر الجليدي. فلأسباب لا ندرکها حتى الآن، انتهت فترة تجدد دامت لآلاف السنين، ومهد هذا الطريق لظهور الزراعة، وسرعان ما روض البشر الخيول والثيران، مما زاد من قدرتنا إلى قدرة واحد حصان. وحينها أصبح الإنسان الواحد يمتلك الطاقة اللازمة لزراعة مساحات تصل إلى عدة أفدنة من الأرض الزراعية، وهو ما ولد طاقة فائضة كانت كافية لإعالة تعداد سكان آخذ في النمو بسرعة. ومع ترويض الحيوانات، لم يعد البشر يعتمدون في طعامهم فقط على صيد الحيوانات، وبدأت أولى القرى والمدن المستقرة في الظهور داخل الغابات والسهول.

وولدت الثروة الزائدة الناتجة عن الثورة الزراعية طرقاتاً جديدة ومبتكرة للحفاظ على تلك الثروة وزيادتها، وابتكرت الكتابة والحساب لإحصاء تلك الثروة، وظهرت الحاجة للتقويمات لتعقب الأوقات المناسبة للزراعة

والخصاد، وكانت هناك حاجة للكتبة والمحاسبين لمراقبة تلك الوفرة في الثروة وحساب الضرائب المستحقة عليها. وأدت تلك الثروة الزائدة في نهاية المطاف إلى ظهور الجيوش الجرارة، والممالك، والإمبراطوريات، والعبودية، والحضارات القديمة عموماً.

وحدثت الثورة التالية منذ نحو 300 عام مضت، مع حلول عصر الثورة الصناعية، ففجأة أصبحت الثروة التي يستطيع الفرد جمعها غير مقتصرة فقط على ناتج عمل يديه وحيواناته وإنما نتاج آلات يمكنها صنع ثروة هائلة من خلال الإنتاج الضخم واسع النطاق.

استطاعت المحركات البخارية تشغيل آلات وقاطرات قوية، ومن ثم أمكن صنع الثروة بواسطة المصانع، والطواحين، والمناجم، وليس الحقول فقط. وتدفق الفلاحون - الذين فروا من المجاعات الدورية وأعياهم العمل الشاق الذي يقسم الظهور في الحقول - على المدن وشكلوا طبقة عمالة صناعية. واختفى الحدادون وصُنِّع المركبات في النهاية وحل محلهم عمال خطوط الإنتاج في مصانع السيارات. ومع اختراع ماكينة الاحتراق الداخلي، أصبح بمقدور المرء حينها السيطرة على طاقة تساوي قدرة مئات الأحصنة. وأخذت فترة الحياة المتوقعة للبشر تزيد، فوصلت إلى سن التاسعة والأربعين في الولايات المتحدة بحلول عام 1900.

وأخيراً، أصبحنا وسط الموجة الثالثة، حيث تتولد الثروة من المعلومات. إن ثروة الأمم تقاس الآن بالإلكترونيات التي تجوب العالم عبر كابلات الألياف البصرية والأقمار الصناعية، لتظهر في نهاية الأمر على شاشات الكمبيوتر في وول ستريت وغيرها من عواصم المال. لقد أصبحت العلوم،

والتجارة، والتسلية تنتقل بسرعة الضوء لتعطينا معلومات لا حدود لها، في أي زمان وأي مكان.

## حضارات النمط الأول، والثاني، والثالث

كيف ستستمر تلك الزيادة الهائلة في الطاقة خلال القرون والألفيات التالية من الزمن؟ فعندما يحاول الفيزيائيون تحليل الحضارات، يقومون بتصنيفها بناءً على الطاقة التي تستهلكها، وكان أول من طرح هذا التصنيف عام 1964 هو عالم الفيزياء الفلكي الروسي نيكولاي كارداشيف Nikolai Kardashev، الذي كان مهتمًا باستكشاف السماء في الليل بحثًا عن إشارات مرسلة من حضارات متقدمة في الفضاء.

لم يكن نيكولاي راضيًا عن شيء غامض وضبابي وغير محدد كهذا الذي يسمى (حضارة فضائية)، ولذا قدم لنا معيارًا كمياً لتوجيه عمل علماء الفضاء. لقد أدرك أن تلك الحضارة الفضائية قد تختلف بناءً على ثقافتها، ومجتمعها، وبيئتها، وما إلى ذلك عن حضارتنا، غير أن هناك شيئًا واحدًا يجب على الجميع الخضوع له: قوانين الفيزياء. أما على سطح الأرض، فهناك شيء واحد يمكننا ملاحظته وقياسه ويمكن أن يصنف الحضارات إلى فئات مختلفة، ألا وهو استهلاك الطاقة.

لذا اقترح نيكولاي ثلاثة أنماط نظرية: حضارة النمط الأول وهي حضارة كوكبية تستهلك ضوء الشمس الذي يسقط على كوكبها، أو نحو <sup>10</sup> وات من الطاقة. وحضارة النمط الثاني وهي حضارة نجمية، تستهلك كل الطاقة التي تبعث بها شمسها، أو <sup>27</sup> <sup>10</sup> وات. وحضارة النمط الثالث

وهي حضارة مجرية، تستهلك طاقة مليارات النجوم، أو نحو 10<sup>37</sup> وات. تكمن ميزة هذا التصنيف في أننا نستطيع قياس كمية الطاقة التي يستهلكها كل نمط من أنماط الحضارة بدلا من استخدام تعميمات غامضة جامحة. ولما كنا نعرف ناتج الطاقة لتلك العناصر السماوية، صار بإمكاننا وضع حدود علمية رقمية لكل منها أثناء بحثنا في السماء.

وفصل بين كل نمطين 10 مليارات ضعف؛ فحضارة النمط الثالث تستهلك طاقة أكثر بـ 10 مليارات مرة أضعاف مقدار الطاقة التي تستهلكها حضارة النمط الثاني (لأن هناك حوالي 10 مليارات نجم أو أكثر في المجرة الواحدة)، وحضارة النمط الثاني بدورها تستهلك الطاقة بمقدار 10 مليارات مرة أضعاف الطاقة التي تستهلكها حضارة النمط الأول.

ووفقاً لهذا التصنيف، فإن حضارتنا الحالية تنتمي إلى النمط صفر. فنحن لا نقع في أي موضع على هذا المقياس؛ لأننا نستمد طاقتنا من النباتات الميتة، أي من النفط والفحم. (حاول كارل ساجان، عن طريق تعميم هذا التصنيف، أن يقدم تقديراً أكثر دقة لتصنيف البشر على هذا المقياس الكوني. وأظهرت حساباته أننا في واقع الأمر حضارة من النمط 0.7).

وعلى هذا المقياس، يمكننا أيضاً تصنيف الحضارات المتنوعة التي نراها في روايات وأفلام الخيال العلمي، وستكون حضارة النمط الأول حينئذ هي حضارة باك روجرز أو فلاش جورودون، حيث تم تطوير مصادر طاقة للكوكب بأكمله. إنهما حضارتان تستطيعان التحكم في جميع مصادر الطاقة الكوكبية، ولذا فإنهما قد تتمكنان من السيطرة على المناخ أو تغييره بإرادتهما، أو تسخير طاقة إعصار ما، أو بناء مدن في المحيطات. ورغم

أنهما تجوبان الفضاء في صواريخ، فإن مخرجات طاقتهما تظل إلى حد كبير مقتصرة على كوكبيهما.

وقد تضم حضارة النمط الثاني حضارة (اتحاد الكواكب) في فيلم (رحلة النجوم) Star Trek، وهي حضارة استطاعت استيطان نحو 100 نجم قريب. وتستطيع تكنولوجيا تلك الحضارة بصعوبة تسخير إجمالي ناتج طاقة نجم ما.

ويمكن اعتبار حضارة (الإمبراطورية) في ملحمة (حرب النجوم) Star Wars، أو حتى حضارة (البورج) في سلسلة (رحلة النجوم)؛ حضارتين من النمط الثالث، فكلتاهما استطاعت استيطان أجزاء كبيرة من المجرة، وتطويق مليارات المنظومات النجمية، كما أنهما تستطيعان التجول في الفضاء المجري كما تشاءان.

(مع أن مقياس كارداشيف يعتمد على الكواكب، والنجوم، والمجرات في تصنيفه لكن من الواجب هنا أن نشير إلى احتمال وجود نمط رابع من الحضارات، وهو نمط يستمد طاقته من مصادر خارج الحدود المجرية. ومصدر الطاقة الوحيد المعروف لنا خارج حدود مجرتنا هي الطاقة السوداء، التي تشكل نحو 73 في المئة من مادة وطاقة الكون المعروف، فيما يشكل عالم النجوم والمجرات 4 في المئة فقط من الكون. وقد يكون المرشح المحتمل للنمط الرابع من الحضارات هو (كيو) Q الشبيه بالآلهة في سلسلة (رحلة النجوم، وهو يستمد الطاقة من خارج المجرة).

ويمكننا استخدام هذا التصنيف في حساب الوقت الذي يمكن أن نصل فيه لكل فئة من هذه الفئات. هب أن حضارة العالم تنمو بمعدل 1 في



المئة كل عام من ناحية إجمالي الناتج المحلي الجمعي. وهو افتراض معقول عندما نأخذ متوسط القرون العديدة الماضية، فوفقاً لهذا الافتراض، يتطلب الأمر حوالي 2500 سنة للانتقال من نمط حضارة إلى النمط التالي، وإذا كان معدل النمو هو 2 في المئة، فإن الفترة الانتقالية تصبح 1200 سنة.

لكن من الممكن أيضاً أن نحسب كم يحتاج كوكبنا للوصول إلى تصنيف النمط الأول. فرغم الارتفاعات والانخفاضات الاقتصادية، ومراحل الازدهار والتدهور، يمكن لنا أن نقدر حسابياً أننا سنصل إلى حضارة النمط الأول في غضون حوالي 100 عام، في ضوء المعدل المتوسط لنمونا الاقتصادي.

## من النمط صفر إلى النمط الأول

إننا نرى دليلاً على هذا التحول من النمط صفر إلى النمط الأول في كل مرة نطالع فيها الصحيفة. فيمكن إرجاع العديد من عناوين الصحف إلى الآم مخاض لميلاد حضارة من النوع الأول يحدث الآن أمام أعيننا.

- شبكة الإنترنت هي بداية منظومة تليفونية كوكبية لحضارة من النمط الأول. ف لأول مرة في التاريخ، يستطيع شخص في إحدى القارات تبادل معلومات لا حد لها مع شخص آخر في قارة أخرى بلا أدنى جهد. وفي الحقيقة، أن كثيراً من الناس باتوا يشعرون الآن بالفعل بأنهم يشتركون مع أشخاص آخرين في الجانب الآخر من العالم؛ في أشياء أكثر من تلك التي يشتركون فيها مع جيرانهم القريين. وسوف تتسارع تلك العملية مع استخدام الدول للمزيد من كابلات الألياف البصرية وإطلاق المزيد من أقمار الاتصالات، وتلك أيضاً عملية غير قابلة للإيقاف، فحتى إذا حاول رئيس الولايات المتحدة الأمريكية

حظر استخدام شبكة الإنترنت، فلن يُقابل إلا بالضحك والسخرية. فهناك نحو مليار جهاز كمبيوتر شخصي في أنحاء العالم اليوم، وحوالي رُبع البشر جميعاً دخلوا إلى شبكة الإنترنت ولو مرة واحدة على الأقل.

• تبرز بضع لغات، على رأسها الإنجليزية ثم الصينية، باعتبارها لغات المستقبل في حضارة النمط الأول. فمثلاً، على شبكة الويب العالمية، يسجل 29 في المئة من الزوار دخولهم بالإنجليزية، يليهم 22 في المئة يسجلون الدخول بالصينية، ثم 8 في المئة بالإسبانية، و6 في المئة باليابانية، و5 في المئة بالفرنسية. وأصبحت الإنجليزية هي بالفعل اللغة الكوكبية للعلوم، والماليات، والتجارة، والتسلية. فاللغة الإنجليزية هي الأوسع انتشاراً ورقم واحد على سطح الكوكب رغم أنها تأتي في الترتيب الثاني بعد الصينية من حيث عدد الناطقين بها. فأيما سافرت أجد أن الإنجليزية أصبحت هي اللغة المشتركة بين الشعوب المختلفة. ففي آسيا، مثلاً، عندما يلتقي الفيتناميون واليابانيون والصينيون في اجتماع، يستخدمون الإنجليزية في التواصل. وفي الوقت الحالي، هناك نحو 6000 لغة يتحدث بها سكان الأرض، و90 في المئة من تلك اللغات يتوقع أن تنقرض خلال العقود المقبلة، وفقاً لمايكل إي. كراوس Michael E. Krauss، الذي كان يعمل سابقاً في مركز اللغات الوطنية Native Language Center بجامعة ألاسكا University of Alaska. وتؤدي ثورة الاتصالات عن بعد إلى التعجيل بهذه العملية، إذ إن الناس كافة بمن فيهم الذين يعيشون في أقصى بقاع الأرض يتعرضون للغة الإنجليزية بطريقة أو بأخرى. وسوف يؤدي هذا أيضاً إلى التعجيل بالنمو الاقتصادي؛ لأن مجتمعاتهم تندمج على نحو أكبر في الاقتصاد العالمي، مما يرفع مستويات المعيشة والنشاط الاقتصادي.

يتحسر بعض الناس على حقيقة أن بعض اللغات القديمة الموروثة ستنتهي ولن يتحدث بها أحد بعد الآن. لكن ثورة الكمبيوتر، من ناحية أخرى، سوف تضمن عدم ضياع تلك اللغات، فسوف يضيف أهل اللغة لغتهم وثقافتهم إلى شبكة الإنترنت، حيث سيتم الاحتفاظ بها إلى الأبد.

• إننا نشهد ميلاد اقتصاد كوكبي، فبزوغ الاتحاد الأوروبي وغيره من التكتلات التجارية يجسد ظهور اقتصاد حضارة من النمط الأول. فمن المعروف تاريخياً أن الشعوب الأوروبية قد قاتلت في معارك ثأرية مع جيرانها لآلاف السنين. وحتى بعد سقوط الإمبراطورية الرومانية، فقد استمرت القبائل في ذبح بعضها بعضاً؛ لتشكل في نهاية الأمر الدول الأوروبية المتقاتلة. لكن تلك الأمم المنخرطة في صراعات مريرة ارتبطت اليوم ببعضها بعضاً فجأة لتشكل الاتحاد الأوروبي، الذي يجسد أكبر تكتل للثروة على سطح كوكب الأرض. أما السبب الذي جعل تلك الأمم تنحي صراعاتها الشهيرة جانباً على نحو مفاجئ فهو الرغبة في منافسة القوة الاقتصادية الماحقة للدول التي وقعت اتفاقية التجارة الحرة لدول أمريكا الشمالية<sup>(1)</sup> North American Free Trade Agreement (المعروفة اختصاراً باسم (نافتا) NAFTA). وفي المستقبل، سوف نرى تشكيل

(1) اتفاقية التجارة الحرة لدول أمريكا الشمالية North American Free Trade Agreement: تعرف اختصاراً باسم (نافتا) NAFTA وهي اتفاقية لإنشاء منطقة تجارية حرة بين الولايات المتحدة وكندا والمكسيك. دخلت حيز التنفيذ في 1 يناير 1994. وتعتبر مصادقة الكونغرس الأمريكي على الاتفاقية هي البداية لإنشاء هذا التكتل، وهو كيان كما يفهم من الاتفاقية المنشأة من أجله مفتوح أمام باقي الدول الأمريكية بما في ذلك بعض دول أمريكا اللاتينية التي قد تنضم إليه في المستقبل. وإذا تفحصنا أهداف هذا الاتحاد فسنجد أنها لا تختلف كثيراً عن أهداف الاتحاد الأوروبي، فهي بعد تحقيق اقتصاد قوي للدول الأعضاء تعطي كل أولوياتها للقدرة على منافسة التكتلات الاقتصادية الأخرى الصاعدة على المستوى العالمي. (المترجم)

المزيد من التكتلات الاقتصادية، وذلك عندما تدرك باقي الأمم أنها لا تستطيع أن تظل في المنافسة ما لم تنضم لتكتلات تجارية قوية رابحة. وعندما نحلل الأزمة الاقتصادية العالمية التي وقعت عام 2008، نكتشف دليلاً بيانياً على هذا. ففي غضون أيام قليلة، امتدت موجات الصدمة الاقتصادية الناشئة أصلاً من وول ستريت لتجتاح الأسواق المالية في لندن، وطوكيو، وهونغ كونغ، وسنغافورة. ومن المستحيل اليوم فهم اقتصاديات دولة منفردة دون فهم النزعات المؤثرة في الاقتصاد العالمي ككل.

• إننا نشهد ميلاد طبقة وسطى على مستوى كوكب الأرض. فمئات الملايين من الناس في الصين والهند وغيرها من دول العالم ينضمون لمصاف هذه الطبقة، التي يمكن أن تكون أعظم حراك اجتماعي حدث في العالم خلال نصف القرن الأخير، وهذه الفئة من الناس واعية للثقافة والتعليم والنزعات الاقتصادية المؤثرة في الكوكب. ولا ينصب تركيز أفراد تلك الطبقة الوسطى الكوكبية على الحروب، أو الدين، أو القواعد الأخلاقية الصارمة، وإنما على الاستقرار السياسي والاجتماعي والبضائع الاستهلاكية. فالشغف الأيديولوجي والعشائري الذي كان مستحوذاً على أسلافهم لا يعني لهم الكثير. بما أن هدفهم هو امتلاك منزل في ضواحي المدينة مع سيارتين. وفي حين كان أسلافهم يحتفلون باليوم الذي يذهب فيه أبناؤهم إلى الحرب، فإن أحد الاهتمامات الأساسية لهؤلاء الآن هو إلحاق أبنائهم بكلية جامعية مرموقة. أما هؤلاء الأشخاص الذين ينظرون بحسد لأناس غيرهم فيرتقون وتحسن أحوالهم متى يحين الوقت ليرتقوا بدورهم. كتب كينيشي أوهماي

Kenichi Ohmae، أحد كبار الشركاء في شركة ماكنزي أند كومباني Mckinsey and Company، يقول: (سوف يبدأ الناس حتمًا في النظر حولهم والتساؤل عن سبب عدم امتلاكهم لما يمتلكه آخرون. وهناك سؤال آخر على القدر نفسه من الأهمية، وفجواه لماذا لم يستطيعوا امتلاك هذه الأشياء في الماضي).

• الاقتصاد، وليس الأسلحة، إنه المعيار الجديد للقوى العظمى. فبرز الاتحاد الأوروبي واتفاقية التجارة الحرة لبلاد أمريكا الشمالية يؤكد على نقطة مهمة؛ فمع نهاية الحرب الباردة، أصبح من الواضح أن القوة العالمية يمكنها الحفاظ على وضعها المهيمن في العالم من خلال القوة الاقتصادية في الأساس. أما الحروب النووية فهي أخطر من أن يقدم أحد على خوضها، ولذا فإن القوة الاقتصادية هي ما سيقدر إلى حد كبير مصير الأمم. لقد كان الضغط الاقتصادي للتسابق العسكري مع الولايات المتحدة؛ أحد العوامل التي أسهمت بقوة في انهيار الاتحاد السوفيتي السابق. (وكما علق بعض مستشاري الرئيس الأمريكي الأسبق رونالد ريجان Ronald Regan، فإن إستراتيجية الولايات المتحدة الأمريكية كانت تتمثل في إدخال روسيا في حالة كساد اقتصادي، أي زيادة الإنفاق العسكري الأمريكي، حيث يضطر الروس - في ظل اقتصاد يقل حجمه عن نصف حجم الاقتصاد الأمريكي - إلى ترك شعبهم يعاني من الجوع لمواكبة الإنفاق العسكري الأمريكي). وبدا واضحًا أن القوة العظمى، في المستقبل، لا يمكنها الحفاظ على مكانتها إلا من خلال القوة الاقتصادية، وهذا بدوره ينبع من العلم والتكنولوجيا.

• تبرغ الآن ثقافة كوكبية، قائمة على ثقافة الشباب (موسيقى الروك أند رول وموضوعات الشباب)، والأفلام السينمائية (أفلام هوليوود فائقة النجاح والانتشار)، والموضة الراقية (سلع الرفاهية)، والطعام (سلاسل مطاعم الأطعمة السريعة واسعة النطاق). فأينما ذهبنا وارتحلنا، يمكنك أن تجد دليلاً على الميول الثقافية ذاتها في الموسيقى، والفنون، والموضة. فعلى سبيل المثال، تدرس هوليوود بعناية الذوق العالمي عندما تحسب مدى النجاح الذي سيحققه فيلم ما. يحتمل أن يحقق نجاحاً كبيراً. أما الأفلام التي تحتوي على أفكار متعددة الثقافات (كأفلام الحركة أو الأفلام الرومانسية)، وتضم كذلك عدداً كبيراً من المشاهير المعروفين عالمياً، فهي التي تحقق أعلى الإيرادات لهوليوود، وهذا دليل على الثقافة الكوكبية البازغة.

لقد رأينا هذا بعد الحرب العالمية الثانية، عندما امتلك جيل كامل من الشباب - لأول مرة في تاريخ البشرية - دخلاً كافياً لتغيير الثقافة السائدة. وفي السابق، كان الأطفال يذهبون إلى الحقول ليكدحوا مع آبائهم. بمجرد أن يبلغوا سن النضج (وهذا هو منشأ الإجازة الصيفية الممتدة لثلاثة أشهر. ففي العصور الوسطى، كان مطلوباً من الأطفال القيام بعمل يقصم الظهور في الحقول أثناء الصيف. بمجرد أن يشبوا عن الطوق). لكن مع زيادة الرفاهية، رحل جيل من ولدوا بعد الحرب العالمية الثانية في أمريكا عن الحقول وتوجهوا نحو شوارع المدن. واليوم، نرى أن النمط ذاته يتكرر مرة أخرى في دولة وراء أخرى، فيما يزود النمو الاقتصادي الشباب بإيرادات وفيرة متاحة للإنفاق. وفي النهاية، مع دخول معظم أفراد العالم إلى الطبقة الوسطى، فإن الإيرادات المتزايدة ستؤول إلى أبنائهم

الشباب، وهو ما سيزود تلك الثقافة الشبابية الكوكبية بالوقود اللازم لاستمرارها إلى الأبد.

إن موسيقى الروك أند رول، وأفلام هوليوود، وما إلى ذلك ما هي في الحقيقة إلا أمثلة بارزة على أن الرأسمالية الفكرية تحل محل الرأسمالية السلعية. ولسوف تظل الروبوتات لعقود تالية غير قادرة على ابتكار موسيقى وأفلام يمكنها إثارة حماس جمهور عالمي.

ويحدث هذا أيضًا في عالم الموضة، حيث تبسط مجموعة من الماركات العالمية هيمنتها عالميًا، كما أن الموضة الراقية - التي كانت مقتصرة في يوم من الأيام على الطبقة الأرستقراطية والأغنياء غنى فاحشًا - تنتشر بسرعة في جميع أنحاء العالم مع انضمام المزيد من الناس إلى الطبقة الوسطى وتطلعهم إلى بعض إغراءات الثراء، فلم تعد الموضة الراقية منطقة مقتصرة على النخبة الثرية.

غير أن بروز الثقافة الكوكبية لا يعني أن الثقافات أو العادات المحلية سوف تمحى، وستصبح لدى الناس بدلا من ذلك ثقافة مزدوجة. فمن ناحية، سوف يحتفظون بعادات وتقاليدهم المحلية (حيث تضمن شبكة الإنترنت أن تحيا تلك العادات والتقاليد الإقليمية إلى الأبد). ولسوف يظل التنوع الثقافي الثري في العالم مزدهرًا في المستقبل. وفي الواقع، أنه يمكن أن تنتشر سمات مبهمة معينة لثقافة محلية في العالم كله من خلال شبكة الإنترنت، وذلك على نحو يكسب تلك السمات جمهورًا عالميًا. ومن ناحية أخرى، سوف يتقن الناس النزعات المتغيرة التي تؤثر في الثقافة العالمية. وعندما يتواصل الناس مع آخرين من ثقافات أخرى،

فسوف يفعلون هذا من خلال الثقافة العالمية. وقد حدث هذا بالفعل لكثير من أفراد النخبة على مستوى الكوكب كله؛ فهم يتحدثون اللغة المحلية ويتبعون العادات والتقاليد المحلية لكنهم يستخدمون اللغة الإنجليزية ويتبعون الأعراف الدولية عند التعامل مع أناس آخرين من بلدان أخرى، وهذا هو نموذج حضارة النمط الأول البازغة. ولسوف تستمر الثقافات المحلية في الوجود والازدهار، في تعايش سلمي إلى جانب الثقافة العالمية الأكبر.

- تتحول عملية تداول الأخبار إلى نمط كوكبي، فمع انتشار أجهزة التليفزيون التي تتلقى بث الأقمار الصناعية، والهواتف المحمولة، وشبكة الإنترنت، وغير ذلك أصبح من المستحيل على أي دولة أن تسيطر تماماً على الأخبار وأن تشرحها. فالمشاهد المصورة تأتي من جميع أنحاء العالم، وبصورة تتجاوز نطاق سيطرة المراقبين. وعندما تندلع الحروب أو الثورات، يتم بث الصور فوراً في جميع أنحاء العالم في وقت وقوع الأحداث نفسه. وفي الماضي، كان من السهل نسبياً على القوى العظمى في القرن التاسع عشر أن تفرض قيمها وأن تتلاعب بالأخبار. وما يزال ذلك ممكناً إلى اليوم، لكن على نحو أقل بكثير، بسبب التكنولوجيا المتطورة. ومع ارتفاع مستويات التعليم في أنحاء العالم، أصبح هناك جمهور أكبر بكثير يتابع أخبار العالم. وعلى الساسة اليوم أن يضعوا الرأي العام في اعتبارهم عندما يفكرون في عواقب أفعالهم.
- إن الألعاب الرياضية - التي كانت في الماضي جزءاً أساسياً من صياغة هوية قبلية ثم هوية وطنية - تصوغ الآن هوية كوكبية. وتهيمن الآن



كرة القدم والألعاب الأولمبية على الألعاب الرياضية الكوكبية. فدورة الألعاب الأولمبية عام 2008 على سبيل المثال اعتبرت على نطاق واسع احتفالاً بيزوغ نجم الصينيين، الذين أرادوا أن يحظوا بوضعهم الملائم في العالم بعد قرون من العزلة. وهذا أيضًا مثال على سلوك إنسان الكهف، فالألعاب الرياضية لم تعد نشاطًا يتعلق بالبهجة والسعادة فحسب، لكنها أصبحت مدخلًا إلى عالم التكنولوجيا العالية.

• تتم مناقشة التهديدات البيئية كذلك على نطاق كوكبي، فالدول تدرك جيدًا أن التلوث الذي تتسبب فيه يعبر الحدود الوطنية ومن ثم يمكن أن يخلق أزمة دولية. لقد رأينا هذا لأول مرة عندما انفتح ثقب كبير في طبقة الأوزون<sup>(1)</sup> فوق القطب الجنوبي. فلما كانت طبقة الأوزون تمنع الأشعة فوق البنفسجية وأشعة إكس الضارة المنبعثة من الشمس من الوصول إلى الأرض، فقد اجتمعت دول العالم معًا للحد من إنتاج واستهلاك الكلوروفلوروكربونات المستخدمة في الثلاجات والمنظومات الصناعية. وفي عام 1987 تم توقيع (بروتوكول مونتريال)<sup>(2)</sup> Montreal Protocol وهو ما أدى لتقليل استخدام الكيماويات المتسببة في تآكل

(1) طبقة الأوزون Ozone Layer: هي جزء من الغلاف الجوي لكوكب الأرض الذي يحتوي بشكل مكثف على غاز الأوزون، وهي ذات لون أزرق. ويتحول فيها جزء من غاز الأكسجين إلى غاز الأوزون بفعل الأشعة فوق البنفسجية القوية التي تصدرها الشمس. ولهذه الطبقة أهمية حيوية بالنسبة لنا فهي تحول دون وصول الموجات فوق البنفسجية القصيرة بتركيز كبير إلى سطح الأرض. (المترجم)

(2) بروتوكول مونتريال Montreal Protocol: معاهدة دولية تهدف لحماية طبقة الأوزون من خلال التخلص التدريجي من إنتاج عدد من المواد التي يُعتقد أنها مسؤولة عن نضوب طبقة الأوزون. ودخلت الاتفاقية حيز التنفيذ في يناير 1989. ومن المعتقد أنه إذا تم الالتزام بتطبيق الاتفاقية، فإن طبقة الأوزون ستعافي بحلول عام 2050. ونظرًا لاعتمادها وتنفيذها على نطاق واسع، فقد أُشيد بها كمثال استثنائي للتعاون الدولي، وقيل إنها ربما تكون واحدة من أنجح الاتفاقيات الدولية حتى الآن. (المترجم)

طبقة الأوزون بنجاح. وللبناء على هذا النجاح الدولي، تبنت معظم دول العالم ما يعرف باسم (بروتوكول كيوتو)<sup>(1)</sup> Kyoto Protocol عام 1997 للتعامل مع خطر ارتفاع درجة حرارة الأرض، الذي يُعد تهديدًا أخطر لبيئة كوكب الأرض.

• تُعد السياحة واحدة من الصناعات الأسرع نموًا على سطح الكوكب، فقد كان من الشائع، خلال معظم فترات التاريخ البشري، أن يعيش الناس حياتهم كلها في نطاق بضعة أميال من محل ميلادهم. وكان من السهل على الزعماء منعدمي الضمير أن يخذعوا شعوبهم، التي لا تتمتع بأي اتصال بالشعوب الأخرى أو تلك التي لديها اتصال محدود فحسب. لكن المرء يستطيع اليوم أن يجوب العالم كله بميزانية معقولة. وسوف يصبح أجيال الشباب التي تحمل حقائبها على ظهرها اليوم والتي تنزل في بيوت للشباب زهيدة التكلفة في جميع أنحاء العالم؛ زعماء المستقبل. وفي الوقت الذي ينتقد فيه بعض الناس حقيقة أن لدى السياح فهمًا سطحيًا للغاية للثقافات والتواريخ والسياسات المحلية، فإن علينا أن نوازن بين هذا وبين الماضي، عندما كان الاتصال بين الثقافات المتباعدة لا يكاد موجودًا، باستثناء الاتصال أوقات الحرب، وكانت نتائج الاتصال غالبًا مأساوية.

(1) بروتوكول كيوتو Kyoto Protocol: اتفاقية تمثل خطوة تنفيذية لاتفاقية الأمم المتحدة المبدئية بشأن التغير المناخي وهي معاهدة بيئية دولية خرجت للضوء في مؤتمر الأمم المتحدة المعني بالبيئة والتنمية. وقد هدفت المعاهدة إلى تحقيق تثبيت تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي عند مستوى معين. ونصت معاهدة كيوتو كذلك على التزامات قانونية للحد من انبعاث أربعة من غازات الدفيئة هي ثاني أكسيد الكربون، والميثان، وأكسيد النيتروس، وسداسي فلوريد الكبريت، ومجموعتين من الغازات تنتجها الدول الصناعية. ونصت أيضًا على التزامات عامة لجميع البلدان الأعضاء. (المترجم)

- وكذلك يؤدي تراجع أسعار السفر والتنقل عبر العالم إلى تعجيل الاتصال بين الشعوب المختلفة، وهو ما يجعل شن الحروب أكثر صعوبة وينشر مبادئ الديمقراطية. فقد كان سوء التفاهم بين الشعوب أحد العوامل الرئيسية التي حفزت العداء بين الأمم. وبوجه عام، بات من الصعب جداً شن حرب على أمة أخرى تجمعنا بها علاقة مودة وتفاهم.
- إن طبيعة الحروب نفسها تتغير لتعكس هذا الواقع الجديد، فقد أظهر التاريخ أنه لا تكاد تندلع حرب بين دولتين ديمقراطيتين، فجميع حروب الماضي تقريباً لم تندلع إلا بين دول غير ديمقراطية، أو بين دولة ديمقراطية وأخرى غير ديمقراطية. وبوجه عام، يمكن أن تنتشر حمى الحرب بسهولة بواسطة الهمج والدهماء الذين يصورون العدو في صورة شيطان ملعون. أما في ظل الدولة الديمقراطية، فهناك صحافة نشطة، وأحزاب معارضة، وطبقة وسطى مستريحة يمكن أن تخسر كل شيء إذا ما اندلعت الحرب، فإن من الصعب جداً أن تنمو حمى الحرب. فمن الصعب أن تنمو حمى الحرب وهناك صحافة متشككة وأمهات تريد أن تعرف سبب ذهاب أبنائهن إلى ساحة الحرب.
- وسوف تظل الحروب مستعرة في المستقبل؛ فكما قال المنظر العسكري البروسي كارل فون كلاوزفيتز<sup>(1)</sup> Carl von Clausewitz ذات مرة: (الحرب سياسة بوسائل أخرى). ورغم أن نار الحروب ستظل مستعرة،

(1) كارل فون كلاوزفيتز Carl von Clausewitz: جنرال ومُنظر بروسي كان لمؤلفاته أثر كبير في تطوير النظرية العسكرية حول الحرب الشاملة التي تسوغ مهاجمة كل أراضي العدو وممتلكات مواطنيه. (المترجم)

فسوف تتغير طبيعتها مع انتشار الديمقراطية في أنحاء العالم. (وهناك سبب آخر يجعل اندلاع الحروب أكثر صعوبة من ذي قبل، وهو امتلاك العالم وفرة من الثروة وامتلاك الناس لمزيد مما يمكن أن يخسروه. لقد كتب المنظر السياسي إدوارد لوتواك Edward Luttwak يقول إن شن الحروب أصبح أكثر صعوبة بكثير الآن عما كان عليه في الماضي؛ لأن العائلات أصبحت أصغر اليوم. وفي الماضي، كان للأسرة المتوسطة نحو عشرة أبناء أو نحو ذلك؛ وكان الابن الأكبر يرث المزرعة، في حين ينضم إخوته الصغار للكنيسة، أو للجيش، أو يجربون حظهم في مكان آخر. واليوم، لما كان معدل الأطفال لدى الأسرة المتوسطة 1.5 طفل، لم يعد هناك فائض من الأطفال لتمويل الجيوش وجماعات الكهنة. ومن ثم سيكون شن الحروب أكثر صعوبة، خاصة بين الدول الديمقراطية وبين عصابات العالم الثالث).

• سوف تضعف الدول لكنها ستظل موجودة عام 2100، وسوف تظل هناك حاجة إليها لتمرير القوانين وحل المشكلات المحلية. غير أن سلطتها وتأثيرها سوف يقل كثيراً مع تحول محركات النمو الاقتصادي لتصبح إقليمية، ثم عالمية. فمع بزوغ الرأسمالية، على سبيل المثال، في أواخر القرن الثامن عشر وأوائل القرن التاسع عشر، كانت الدول بحاجة إلى فرض عملة، ولغة وقوانين ضرائب، وتنظيمات مشتركة بشأن التجارة وبراءات الاختراع. وسرعان ما انهارت قوانين وأعراف الإقطاع التي أعاققت تقدم التجارة الحرة، والشؤون المالية أمام الحكومات الوطنية. وقد تستغرق تلك العملية، في الوضع الطبيعي، قرناً من الزمن أو نحو

ذلك، لكننا رأينا نسخة على عجل من هذا عندما أقام المستشار الحديدي أوتوفون بسمارك<sup>(1)</sup> Otto von Bismarck، الدولة الألمانية الحديثة عام 1871. وبالطريقة ذاتها، يغير السعي نحو حضارة النمط الأول طبيعة الرأسمالية، كما أن القوة الاقتصادية تتحول تدريجياً من الحكومات الوطنية إلى القوى الإقليمية والتكتلات التجارية.

ولا يعني هذا بالضرورة نشأة حكومة عالمية؛ فهناك طرق عديدة يمكن أن تتواجد بها الحضارة الكوكبية. لكن من الواضح أن الحكومات الوطنية سوف تفقد قوة نسبية من قوتها، أما القوة التي ستملاً الفراغ فسوف تعتمد على العديد من النزعات التاريخية والثقافية والوطنية التي يصعب التنبؤ بها.

• سوف يتم السيطرة على الأمراض على نطاق الكوكب. ففي الماضي القديم، لم تكن الأمراض الخبيثة في واقع الأمر في غاية الخطورة؛ لأن تعداد سكان البشر كان قليلاً. ففيروس الإيبولا<sup>(2)</sup> Ebola غير القابل للعلاج، مثلاً، هو على الأرجح مرض قديم أصاب بضع قرى معدودة على مدار آلاف السنين، غير أن الانتشار السريع للحضارة إلى مناطق

(1) أوتوفون بسمارك Otto von Bismarck: رجل دولة وسياسي بروسي (ألماني) شغل منصب رئيس وزراء مملكة بروسيا بين عامي 1862 و1890، وأشرف على توحيد الولايات الألمانية وتأسيس الإمبراطورية الألمانية أو ما يسمى بـ (الرايخ الألماني الثاني)، وأصبح أول مستشار لها بعد قيامها في عام 1871، حتى عزله فيلهلم الثاني عام 1890. ولدوره المهم خلال مستشاريته للرايخ الألماني أثرت أفكاره على السياسة الداخلية والخارجية لألمانيا في نهاية القرن التاسع عشر، ولذا عرف بسمارك بلقب (المستشار الحديدي). (المترجم)

(2) فيروس الإيبولا Ebola: مرض فيروسي خطير يصيب الإنسان وبعض أنواع القردة وهو مرض معدي ويتصف بمعدلات إماتة عالية. اكتشف هذا المرض لأول مرة سنة 1976، ومنذ ذلك الحين ظهرت أنواع مختلفة منه مسببة أوبئة تكون نسبة الوفيات فيها من 50 إلى 90 في المئة في كل من زائير، والجابون، وأوغندا، والسودان. (المترجم)

كانت سابقاً غير مأهولة بالإضافة إلى نشأة المدن يعنيان أن شيئاً مثل الإيبولا لا بد من مراقبته بعناية.

وعندما يصل تعداد سكان المدن من مئات الألوف إلى نحو المليون، يمكن أن تنتشر الأمراض بسرعة وأن تتسبب في أوبئة ماحقة. وقد كانت حقيقة أن الطاعون الأسود<sup>(1)</sup> Black Plague قتل حوالي نصف سكان أوروبا مؤشراً على النمو - رغم ما ينطوي عليه هذا من سخرية - لأن أعداد السكان كانت قد وصلت إلى كتلة حرجة لانتشار الأوبئة، وتسببت طرق الشحن في ربط المدن القديمة حول العالم ببعضها بعضاً.

وهكذا فإن الانتشار الحالي لفيروس إنفلونزا (إتش 1 إن 1)<sup>(2)</sup> H1N1 يعد معياراً لتقدمنا أيضاً، فقد انتشر هذا الفيروس، الذي نشأ على الأرجح في مكسيكو سيتي، بسرعة في أنحاء العالم من خلال رحلات الطائرات النفاثة. والأكثر أهمية أن الأمر قد احتاج بضعة شهور فحسب من دول العالم لعزل جينات الفيروس ثم صنع لقاح ضده، أصبح متاحاً لمئات الملايين من الناس.

(1) الطاعون الأسود أو الموت الأسود Black Plague: وباء اجتاح أنحاء أوروبا بين عامي 1347 و 1352 وتسبب في موت ما لا يقل عن ثلث سكان القارة. وانتشرت أوبئة مشابهة في الوقت نفسه في آسيا والشرق الأدنى، مما يوحي بأن هذا الوباء الأوروبي كان جزءاً من وباء عالمي أوسع نطاقاً. (المترجم)

(2) فيروس الإنفلونزا (إتش 1 إن 1) H1N1: هو أحد أنواع فيروس الإنفلونزا وهو أكثر الأنواع المسببة للإنفلونزا لدى البشر. بعض فصائل الفيروس مستوطنة لدى البشر مثل الفصائل المسببة للإنفلونزا الإسبانية التي تسببت في وفاة عدد يتراوح بين 70 - 100 مليون شخص. وتعد الفصائل المنتشرة في الوقت الحالي - التي تسببت في نصف أمراض الإنفلونزا في عام 2006 - أقل فتكاً من الإنفلونزا الإسبانية. وبعض أنواع H1N1 مستوطنة في الخنازير والطيور. (المترجم)

## الإرهاب والديكتاتورية

غير أن هناك جماعات من البشر تقاوم بصورة غريزية الميل نحو حضارة كوكبية من النمط الأول؛ لأنهم يعلمون أنها حضارة تقدمية، وحرّة، وعلمية، ومزدهرة، وقائمة على التعليم والثقافة. وقد لا تكون تلك القوى مدركة لتلك الحقيقة ولا تستطيع الإعراب عنها بوضوح، لكنها عملياً تقاوم التوجه نحو حضارة النمط الأول، وتلك القوى هي:

- المتطرفون الإسلاميون الذين يفضلون العودة بالزمن ألف سنة إلى الوراء، أي إلى القرن الحادي عشر، بدلا من العيش في القرن الحادي والعشرين. إنهم لا يستطيعون صياغة استيائهم بهذه الطريقة، لكننا نرى من خلال تصريحاتهم هم أنفسهم؛ أنهم يفضلون العيش في ظل حكومة دينية تكون فيها العلوم والعلاقات الشخصية والسياسة خاضعة لتعاليم دينية صارمة (وهم بذلك ينسون أن عظمة الحضارة الإسلامية وتفوقها العلمي والتكنولوجي لم تتحقق إلا من خلال تحمل وقبول الأفكار الجديدة، هؤلاء المتطرفون لا يدركون المصدر الحقيقي لعظمة الماضي الإسلامي).

- الحكومات الديكتاتورية التي تعتمد على جعل شعوبها جاهلة بما تحقّقه الشعوب الأخرى من ثروة وتقدم. وأحد الأمثلة البارزة على ذلك هي المظاهرات التي اندلعت في إيران عام 2009، حيث حاولت الحكومة قمع أفكار المتظاهرين، الذين كانوا يستخدمون موقع التواصل الاجتماعي (تويتر) Twitter وموقع الفيديو (يوتيوب) YouTube في نضالهم من أجل توصيل رسالتهم إلى العالم.

وفي الماضي، ذكر الناس أن القلم أمضى من السيف. وفي المستقبل، ستكون رقاقة الكمبيوتر هي الأقوى من السيف.

إن أحد الأسباب التي لا يثور من أجلها شعب كوريا الشمالية - وهي دولة فقيرة للغاية - هو أن الشعب محروم من كل وسائل الاتصال بالعالم الخارجي، ويتصور أن شعوب هذا العالم تتضور جوعاً أيضاً. ولأنهم يفهمون أنهم مضطرون لتقبل هذا المصير، فإنهم يتجشمون معاناة بالغة.

## حضارات النمط الثاني

بحلول الوقت الذي يبلغ فيه المجتمع البشري مرتبة النمط الثاني بعد آلاف السنين في المستقبل، يصبح هذا المجتمع خالداً. فليس هناك شيء معروف للعلم يمكنه تدمير حضارة من النمط الثاني. ونظراً لأن تلك الحضارة ستكون قد سيطرت على الطقس منذ أمد بعيد، فإنها ستستطيع تجنب العصور الجليدية أو تغيير المناخ، كما أنها ستستطيع أيضاً تفادي النيازك والمذنبات. وحتى إذا تحولت شمسها إلى نجم مستعر أعظم<sup>(1)</sup> supernova، فإن سكان تلك الحضارة سيكونون قادرين على الهروب واللجوء إلى مجموعة شمسية أخرى، أو ربما يستطيعون منع نجمهم من الانفجار (فإذا تحولت شمسهم مثلاً إلى عملاق أحمر، فإنهم قد يتمكنون

(1) مستعر أعظم أو سوبرنوفـا supernova: نوع من أنواع النجوم المتفجرة وتعبير يدل على عدة انفجارات نجمية هائلة يرمي فيها النجم غلافه في الفضاء عند نهاية عمره. وتؤدي إلى تكون سحابة كروية براقعة للغاية حول النجم تتكون من البلازما، وسرعان ما تنتشر طاقة الانفجار في الفضاء وتتحول إلى أجسام غير مرئية في غضون أسابيع أو أشهر. أما قلب النجم فينهار على نفسه نحو المركز مكوناً إما قرماً أبيض أو يتحول إلى نجم نيوتروني ويعتمد ذلك على كتلة النجم. أما إذا زادت كتلة النجم عن نحو 20 كتلة شمسية فإنه قد يتحول إلى ثقب أسود دون أن ينفجر في صورة مستعر أعظم. (المترجم)



من جعل بعض الكويكبات تدور حول كوكبهم على نحو يشبه أثر المقلع بغرض نقل كوكبهم إلى موضع أبعد من شمسهم هذه). وإحدى الطرق التي قد تتمكن بها حضارة النمط الثاني من استغلال ناتج الطاقة الكلي لنجم ما هي صنع كرة عملاقة حول النجم تمتص ضوء النجم كله، وتسمى تلك الكرة (كرة دايسون)<sup>(1)</sup> Dayson sphere. والأرجح أن حضارة النمط الثاني ستكون منعزلة في الفضاء أيضًا. فلما كان السفر إلى الفضاء أمرًا في غاية الصعوبة، فإنها ستكون قد قضت قرونًا من الزمن بالفعل وهي تصنف بوصفها حضارة من النمط الأول، وهو وقت وفير وكاف للتخلص من الانقسامات داخل مجتمعتها. وبحلول الوقت الذي تتحول فيه حضارة من النمط الأول إلى حضارة من النمط الثاني، ستكون هذه الحضارة قد استوطنت النجوم القريبة منها وليس نظامها الشمسي فحسب، وربما إلى بعد يصل إلى عدة مئات من السنوات الضوئية، لكن ليس أكثر من هذا؛ لأنها ستظل مقيدة بسرعة الضوء.

## حضارات النمط الثالث

بحلول الوقت الذي تصل فيه حضارة ما إلى وضع النمط الثالث، ستكون قد استكشفت معظم أجزاء المجرة. وستكون الطريقة الأكثر

(1) كرة دايسون Dayson sphere: هي فكرة لبناء افتراضي وهي عبارة عن كرة ضخمة تحيط بنجم تقوم بإنشائها حضارات متطورة تمتلك تكنولوجيا متقدمة. أما مهمة هذا البناء فهي التقاط أكبر قدر من الطاقة المنبعثة من النجم. وقد افترض عالم الفيزياء النظرية فرمان دايسون أن تلك البنية ستكون النتيجة الحتمية لتغطية الطلب المتزايد على الطاقة من قبل تلك الحضارات المتقدمة، وأن ذلك سيشكل حاجزًا أمام اكتشاف وجودها. (المترجم)

ملاءمة لزيارة مئات المليارات من الكواكب هي إرسال مسابير آلية قادرة على استنساخ نفسها في جميع أرجاء المجرة. ومسبار فون نيومان von Neumann هو روبوت لديه القدرة على صنع نسخ غير محدودة من نفسه؛ وهو يهبط على سطح قمر ما (لأنه خالٍ من الصدأ وعوامل التعرية) ويبنى مصنعاً من التراب القمري، ويقوم المصنع بتصنيع آلاف النسخ لنفسه. وابتداءً بمسبار واحد كهذا، سرعان ما سيكون هناك عالم مليء بالمليارات من تلك المسابير التي تستنسخ نفسها والتي تنطلق بسرعة تقارب سرعة الضوء، لترسم خريطة لمجرة درب التبانة بالكامل في غضون مئة ألف عام فحسب. ولما كان عمر الكون هو 13.7 مليار سنة، فهناك متسع من الوقت لنشأة حضارات كهذه (وانهيارها). (ويشبه هذا النمو الأسّي السريع الآلية نفسها التي تنتشر بها الفيروسات في الجسم البشري).

غير أن هناك احتمالاً آخر. فبحلول الوقت الذي تصل فيه حضارة ما إلى النمط الثالث، يكون لدى سكانها مصادر طاقة كافية لاستكشاف (طاقة بلانك) Planck energy، أو طاقة  $10^{19}$  مليارات إلكترون فولت، وهي الطاقة التي يصبح عندها الزمن الفضائي نفسه غير مستقر (وطاقة بلانك هي طاقة أكبر بنحو كدريليون ضعف من الطاقة التي يولدها أكبر محطم ذرات يمتلكه على الأرض، وهو مصادم الهدرونات الكبير Large Hadron Collider الموجود خارج جنيف؛ وهي الطاقة التي تنهار عندها أخيراً نظرية آينشتاين للجاذبية. وعند هذا القدر من الطاقة، يعتقد نظرياً أن نسيج الزمن الفضائي سوف يتمزق في نهاية الأمر، مخلّفاً بوابات ضئيلة قد تؤدي إلى أكوان أخرى أو نقاط أخرى في الزمن الفضائي). وسوف

يتطلب استغلال مثل هذه الطاقة الهائلة آلات جبارة على نطاق لا يمكن تصوره، لكنها إذا نجحت فإنها قد توجد طرقاً مختصرة محتملة عبر نسيج الفضاء والزمان، وذلك إما عن طريق انضغاط الفضاء وإما عن طريق المرور عبر ثقب دودية. وبافتراض أن سكان هذه الحضارة قد استطاعوا التغلب على عدد من العقبات النظرية والعملية الكؤود (مثل تسخير طاقة موجبة وسالبة كافية وإزالة عناصر عدم الاستقرار)، فمن الممكن أن تتصور أنهم قد يستطيعون استيطان المجرة بأكملها.

وقد دفع هذا بعض الناس إلى التفكير في السبب الذي منع حضارة كذلك من زيارتنا نحن البشر، حيث يتساءل منتقدو الفكرة: أين هم؟ وإحدى الإجابات المحتملة لهذا السؤال أنهم ربما زارونا بالفعل، لكننا أكثر بدائية من أن نلاحظوا. وتعد مسابير فون نيومان التي تستنسخ ذاتها هي الوسيلة الأكثر عملية لاستكشاف المجرة، وتلك المسابير ليست ضخمة، وقد يبلغ طولها بضع بوصات قليلة فحسب، وذلك بسبب التطور الثوري في تكنولوجيا النانو. وربما كانت تلك المستكشفات الصغيرة في نطاق رؤيتنا بوضوح، لكننا لا نراها لأننا نبحث عن شيء آخر مختلف تماماً، ونتوقع سفينة فضاء ضخمة تحمل كائنات غريبة من الفضاء الخارجي. ومن المرجح جداً أن مسبار كهذا سيكون آلياً على نحو كامل، ولن يضم بداخله أي كائنات فضائية غريبة على الإطلاق.

وعندما نلتقي في نهاية الأمر بكائنات فضائية غريبة، قد تدهشنا المقابلة بشدة لأن تلك الكائنات ربما تغيرت طبيعتها البيولوجية منذ زمن طويل باستخدام علوم الروبوتات، وتكنولوجيا النانو، والتكنولوجيا الحيوية.

وهناك احتمال آخر هو أن الحضارات الأخرى ربما تكون قد دمرت ذاتها. فكما ذكرنا أن الانتقال من النمط صفر إلى النمط الأول هو الانتقال الأكثر خطورة؛ لأننا حينها نظل نمتلك وحشية الماضي كلها وتطرفه وعنصريته. ومن المحتمل أن نجد في يوم من الأيام، عندما نزور النجوم، أدلة على وجود حضارات من النمط صفر فشلت في التحول إلى النمط الأول (فربما أصبح مناخها مثلاً أكثر سخونة من أن يحتمل، أو أصبح شديد النشاط الإشعاعي بصورة لا تدعم استمرار الحياة).

## البحث عن ذكاء خارج الأرض

من المؤكد، في الوقت الحالي، أن سكان العالم غير مدركين لمسألة التقدم نحو حضارة كوكبية من النمط الأول، فليس هناك وعي ذاتي جمعي بأن هذا التحول التاريخي يحدث بالفعل. ولو أجريت عملية استطلاع رأي، ستجد أن بعض الناس قد يكونون مدركين على نحو مبهم لعملية العولمة، لكنك لن تجد لديهم إدراكاً واعياً لفكرة أننا نتجه نحو وجهة معينة.

وقد يتغير كل هذا فجأة لو أننا وجدنا أدلة على وجود حياة عاقلة في الفضاء الخارجي، فحينها سوف ندرك على الفور مستوانا التكنولوجي مقارنة بتلك الحضارة الفضائية، وسوف يكون العلماء بوجه خاص مهتمين بشدة بأنواع التقنيات التي تفوقت تلك الحضارة الفضائية في استخدامها.

ورغم أنه لا يمكن أن نكون واثقين من هذا، فالأرجح أننا خلال القرن الحالي سوف نكتشف وجود حضارة متطورة في الفضاء، وذلك في ضوء

التطورات التكنولوجية السريعة الحالية.

وهناك نزعتان جعلتا هذا الأمر ممكناً؛ الأولى هي إطلاق أقمار صناعية مصممة خصيصاً للعثور على كواكب صخرية صغيرة خارج نظامنا الشمسي، مثل القمر الصناعي الفرنسي (كوروت) COROT وتلسكوب كيبلر Kepler. ومن المتوقع أن يكتشف تلسكوب كيبلر 600 كوكباً صغيراً شبيهاً بالأرض في الفضاء. وبمجرد اكتشاف تلك الكواكب، ستكون الخطوة التالية هي تركيز البحث على انبعاثات توحى بوجود مخلوقات عاقلة على تلك الكواكب.

ففي عام 2001، بدأ ملياردير شركة مايكروسوفت بول آين Paul Allen في التبرع بمبالغ مالية، وصلت الآن إلى 30 مليون دولار، لتشغيل برنامج (البحث عن ذكاء خارج الأرض) Search for Extraterrestrial Intelligence (المعروف اختصاراً باسم (سيتي) SETI). وهذا كله من شأنه أن يزيد كثيراً عدد التلسكوبات اللاسلكية في منشأة (هات كريك) Hat Creek الواقعة شمال سان فرانسيسكو. وعندما يعمل نظام تلسكوبات آين بشكل كامل، فسوف يضم 350 تلسكوباً لاسلكياً، مما سيجعله أكثر نظم التلسكوبات اللاسلكية تطوراً في العالم. وفي الوقت الذي استطاع فيه علماء الفلك في الماضي مسح ما يزيد قليلاً على 1000 نجم في بحثهم عن أدلة على وجود حياة عاقلة، فإن نظام تلسكوبات آين سيزيد هذا العدد ألف ضعف ليصل إلى مليون نجم.

ورغم أن العلماء كانوا يبحثون بلا طائل عن إشارات على وجود حضارات متقدمة طوال خمسين عاماً مضت، فإن هذين التطورين

لم يمنحنا تلك الدفعة الضرورية لبرنامج البحث عن ذكاء خارج الأرض إلا مؤخرًا. ويعتقد كثير من علماء الفضاء أن الجهد المبذول محدود جدًا وأن الموارد المكرسة لهذا المشروع ضئيلة للغاية. ومع هذا التدفق للموارد والبيانات الجديدة، يتحول برنامج البحث عن ذكاء خارج الأرض الآن إلى مشروع علمي جاد.

ومن المتصور أننا قد نكتشف - خلال هذا القرن - إشارات قادمة من حضارة عاقلة في الفضاء الخارجي. (أخبرني سيث شوستيك Seth Shostak، مدير معهد البحث عن ذكاء خارج الأرض في منطقة الخليج؛ أنه يتوقع في غضون عشرين عامًا أن يجري اتصالاً مع حضارة كهذه. وقد يكون هذا إفراطاً في التفاؤل، لكن من المعقول جداً هنا أن ندرك أنه سيكون غريباً جداً أن يمر هذا القرن كله دون أن نكتشف إشارات قادمة من حضارة أخرى في الفضاء).

وإذا ما عثرنا على إشارات من حضارة متقدمة، فقد تكون تلك إحدى العلامات الفارقة الأكثر أهمية في التاريخ البشري. وسوف تحب أفلام هوليود تقديم وصف للفوضى التي قد يتسبب فيها هذا الحدث الجلل، في ظل وجود متبئين يخبروننا بأن نهايتنا أصبحت وشيكة، وفئات دينية مجنونة تتدخل في الأمر مع مرور الوقت... إلخ.

غير أن الواقع سيكون أكثر بساطة من هذا؛ فلن يكون هناك داع للذعر الفوري؛ لأن تلك الحضارة قد لا تعرف أصلاً أننا نتنصت على محادثاتها. وحتى إذا عرفوا بذلك، فسيكون الحوار المباشر بيننا وبينهم عسيراً، بسبب بعدهم الهائل عنا. فأولاً، قد يتطلب الأمر شهوراً وربما سنوات لفك شفرة

رسائلهم، ثم لتصنيف تكنولوجيات تلك الحضارة؛ لنرى ما إذا كانت تندرج تحت تصنيفات كارداشيف أو لا. وثانياً، سوف يكون التواصل المباشر مع تلك الحضارة غير محتمل على الأرجح؛ لأن المسافة التي تفصلنا عنها ستكون سنوات ضوئية عديدة، أي أبعد من أن يمكن إجراء اتصال مباشر بها. وهكذا فإننا سنتمكن فقط من مراقبة تلك الحضارة، وليس إقامة أي حوار معها. وسوف تكون هناك جهود لبناء ناقلات لاسلكية عملاقة يمكنها إرسال رسائل إلى تلك المخلوقات الفضائية، وفي الحقيقة، أن الأمر قد يتطلب قروناً من الزمان قبل أن يصبح أي تواصل متبادل مع تلك الحضارة ممكناً.

## تصنيفات جديدة

ظهر تصنيف كارداشيف في الستينيات من القرن الماضي، عندما كان الفيزيائيون مهتمون بتوليد الطاقة. ومع البزوغ المدهش لقوة الكمبيوتر، تحول الاهتمام إلى ثورة المعلومات، حيث أصبح عدد البتات bits التي تعالجها حضارة ما أمراً مهماً كإنتاجها من الطاقة تماماً.

يستطيع المرء أن يتخيل، مثلاً، حضارة فضائية على سطح كوكب يستحيل فيه استخدام أجهزة الكمبيوتر لأن مناخه غير موصل للكهرباء. وفي هذه الحالة، سرعان ما سوف يتعطل أي جهاز كهربائي وتنبعث منه شرارات، حيث لا يمكن استخدام أي أجهزة كهربائية على سطح الكوكب سوى الأجهزة البدائية للغاية.

وحينها سرعان ما سيحترق أي مولد طاقة أو جهاز كمبيوتر كبير، ويمكننا

أن نتخيل أن حضارة كهذه قد تبرع في نهاية الأمر في استخدام الوقود الأحفوري والطاقة النووية، لكن مجتمع تلك الحضارة سيكون عاجزاً عن معالجة كميات ضخمة من المعلومات. وسيكون من الصعب على المجتمع إنشاء شبكة إنترنت أو نظام اتصالات كوكبي، وسيكون اقتصاده وتقدمه العلمي ضعيفاً. ورغم أن تلك الحضارة قد تستطيع الترقى على مقياس كارداشيف لاستهلاك الطاقة، فسوف يكون هذا الترقى شديد البطء والصعوبة بدون أجهزة كمبيوتر قادرة على معالجة معلومات ضخمة.

ولذا، قدم لنا كارل ساجان معياراً آخر يعتمد على معالجة المعلومات، فقد ابتكر نظاماً تتسق فيه حروف الأبجدية الإنجليزية من حرف A إلى حرف Z مع المعلومات. فحضارة من النمط A هي حضارة تعالج فقط مليون معلومة، وهو ما يتسق مع حضارة لديها لغة منظوقة وليست لديها لغة مكتوبة. فلو أننا جمعنا كل المعلومات التي استطاعت البقاء من عصر الإغريق، حيث كان لديهم لغة مكتوبة وأدب مزدهر، فسنجدها تقدر بنحو مليار معلومة، مما يجعلها حضارة من النمط C. وإذا ارتقينا على هذا المعيار، فيمكننا حينئذ تقدير كم المعلومات الذي تولده حضارتنا الحالية. وسوف يضعنا تخمين مدرّوس في فئة حضارة من النمط H. وهكذا فإن قدر الطاقة ومعالجة المعلومات الخاص بحضارتنا يجعلنا حضارة من النمط H 0.7.

في السنوات الأخيرة، ظهر مصدر آخر للقلق؛ إنه التلوث والنفاية. فالطاقة والمعلومات ليستا كافيتين لتصنيف الحضارة. وفي الحقيقة أنه كلما زاد قدر الطاقة الذي تستهلكه حضارة ما وقدر المعلومات الذي تنتجه،



زاد التلوث والنفاية التي يمكن أن تولدها. تلك ليست مسألة أكاديمية؛ لأن النفاية التي تولدها حضارة النمط الأول وحضارة النمط الثاني قد تكون كفيلة بتدميرهما.

أما حضارة النمط الثاني، مثلاً، فتستهلك كل الطاقة التي يولدها نجم ما. ولنفترض أن محركات تلك الحضارة تعمل بكفاءة بنسبة 50 في المئة، وهو ما يعني أن نصف المخلفات التي تنتجها تكون في صورة حرارة. وهذا أمر مدمر على الأرجح؛ لأنه يعني أن درجة حرارة الكوكب سوف ترتفع إلى أن يذوب! تأمل مليارات مصانع الفحم على كوكب كهذا تقذف كميات ضخمة من الحرارة والغازات التي ستسخن الكوكب إلى درجة تستحيل معها الحياة على سطحه.

لقد حاول فريمان دايسون ذات مرة في الواقع أن يجد حضارة من النمط الثاني في الفضاء الخارجي عن طريق البحث عن عناصر تبعث أشعة تحت الحمراء، بدلا من أشعة إكس أو الضوء المرئي. وحضارة النمط الثاني، إذا هي أرادت إخفاء وجودها عن العيون المتطفلة، عن طريق صنع كرة حاجبة حولها، فلا بد أنها ستولد حرارة كافية من نفاياتها تجعلها تنوهج بالأشعة تحت الحمراء. ولذا فقد اقترح فريمان دايسون أن يبحث علماء الفضاء عن نظام نجمي يولد ضوء الأشعة تحت الحمراء في الأساس (غير أنه لم يتم العثور على حضارة كذلك).

لكن هذا يثير القلق من أن أي حضارة تسمح لطاقتها بأن تخرج عن نطاق السيطرة فإنها بذلك تنتحر. ولذا فإننا نرى أن الطاقة والمعلومات ليستا كافتيتين لضمان بقاء الحضارات أثناء تطورها وارتقائها معيار

التقدم. إننا بحاجة لمعيار جديد؛ معيار يأخذ الكفاءة ودرجة حرارة النفاية والتلوث في الاعتبار. ومعيار كهذا يعتمد مفهوماً آخر يسمى (الاعتلاج) أو (إنتروبيا) <sup>(1)</sup> entropy.

## تصنيف الحضارات بواسطة الإنتروبيا

في الأوضاع المثالية، عادة ما نريد حضارة تنمو في استهلاك الطاقة ومعالجة المعلومات، لكنها تفعل هذا بحكمة، حتى لا يصبح كوكبها ساخناً إلى حد لا يحتمل، أو غارقاً في النفاية.

وقد تم توضيح هذا رسوميًا في فيلم ديزني (ول - إي) Wall - E، حيث تسبب البشر في المستقبل البعيد في تلوّث كوكب الأرض وإهانتته إلى حد جعلنا ببساطة نهجر الفوضى التي صنعناها وراءنا ونعيش حياة الدعة في سفن فضاء مترفة تجوب الفضاء الخارجي.

وهنا تصبح قوانين الديناميكا الحرارية في غاية الأهمية، فأول قوانين الديناميكا الحرارية ينص ببساطة على أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث

(1) إنتروبيا أو الاعتلاج entropy: مصطلح أساسي في الفيزياء، وخاصة بالنسبة للقانون الثاني للديناميكا الحرارية، الذي يتعامل مع العمليات الفيزيائية لأنظمة التجمعات الكبيرة للجزيئات ويبحث في شروط مسيرها كعملية تلقائية. يعتمد على مبدأ أساسي مفاده أن تغيراً تلقائياً في نظام فيزيائي لا بد أن يصحبه ازدياد في مقدار إنتروبيا هذا النظام. وبمعل أي نظام مغلق إلى التغير تلقائياً حتى يصل إلى حالة توزيع متساو في جميع أجزائه، مثل تساوي الحرارة، والضغط، والكثافة في الغازات والسوائل، وغير تلك الصفات، وقد يحتاج النظام المعزول للوصول إلى هذا التوازن بعض الوقت. ومثال ذلك ما يحدث عند إلقاء قطرة من الحبر الأزرق في كوب ماء، إذ نلاحظ أن نقطة الحبر تذوب وتنتشر رويداً رويداً في الماء حتى يصبح كل جزء من الماء متجانساً فيه من حبر وماء. ولوصف فكرة الإنتروبيا نجد أن اختلاط نقطة الحبر بالماء في المثال السابق سهل ويتم بشكل طبيعي، أما إذا أردنا فصل نقطة الحبر عن الماء ليصبح لدينا ماء نقي وحبر نقي فتلك عملية صعبة ولا تتم إلا ببذل جهد كبير. فنقول إن حالة المخلوط له إنتروبيا كبيرة، أما حالة الماء النقي والحبر النقي فهي حالة إنتروبيا منخفضة. وتصادفنا مثل تلك العملية يومياً كما في فصل السكر عن محلول قصب السكر. فإننا نقوم بذلك عن طريق تبخير المحلول، أي بتسخين المحلول وبذل الجهد، أو الطاقة، لفصل السكر عنه. (المترجم)

من عدم، أي أننا لا نستطيع توليد الطاقة دون مقابل. وبعبارة أخرى، فإن الكمية الإجمالية للمادة والطاقة في الكون ثابتة؛ لكن كما رأينا في الفصل الثالث، فإن القانون الثاني هو الأكثر أهمية، وفي الواقع أنه قد يكون المحدد لمصير أي حضارة متقدمة في نهاية الأمر. وببساطة، فإن القانون الثاني من قوانين الديناميكا الحرارية ينص على أن إجمالي مقدار الإنتروبيا (الاعتلاج أو الاضطراب أو الفوضى) في زيادة مستمرة. ويعني هذا أن كافة الأشياء لابد أن تفسد؛ فلا بد لأي عنصر أن يفسد، أو يضمحل، أو يصدأ، أو يشيخ، أو حتى يتحلل (إننا لا نرى مقدار الإنتروبيا الإجمالي يتناقص مطلقاً. فعلى سبيل المثال، لا يمكن للبيض المقلّي أن يقفز من المقلاة وأن يعود مرة أخرى إلى قشرته؛ وكذلك لا يمكن أن نرى حبيبات السكر الذائبة في كوب من القهوة وهي تعود لتتبلور وتقفز عائدة إلى الملعقة. مثل هذه الأحداث لا تقع أبداً، لدرجة أنه ليست هناك كلمة واحدة في اللغة الإنجليزية - أو أي لغة أخرى - تعبر عنها ببساطة).

ولذا إذا أنتجت حضارات المستقبل الطاقة على نحو عمياني أثناء ارتقائها إلى النمط الثاني أو النمط الثالث من الحضارات، فسوف تخلف حرارة هائلة من النفاية بصورة يصبح معها كوكبها غير قابل للعيش عليه. وسوف تؤدي الإنتروبيا الموجودة في صورة حرارة، وفوضى، وتلوث، إلى تدمير الحضارة. وبالمثل، إذا ما كانت تلك الحضارات تولد المعلومات عن طريق قطع أشجار غابات كاملة وتوليد جبال من أوراق النفاية، فسوف تُدفن الحضارة في نفاية المعلومات التي ولدتها هي نفسها.

ولذا، فإن علينا أن نبتكر معياراً آخر جديداً لتصنيف الحضارات. وعلينا

أن نضيف نمطين جديدين من أنماط الحضارة؛ النمط الأول هو حضارة (حفظ مستوى الإنترنت)، وهي حضارة تستخدم كل وسيلة متاحة لها للسيطرة على الحرارة والنفاية الزائدة. فهي مع حاجتها لزيادة طاقتها على نحو متضاعف ومستمر، تدرك أن استهلاكها للطاقة قد يغير بيئة كوكبها، على نحو يجعل الحياة عليه مستحيلة. وسوف يستمر إجمالي الاضطراب أو الإنترنت الذي تصنعه حضارة متطورة في الزيادة بشدة؛ فهذا أمر حتمي لا مفر منه، لكن الإنترنت المحلية يمكن أن تقلص على سطح الكوكب لو أن تلك الحضارة استخدمت تكنولوجيا النانو والطاقة المحددة للتخلص من النفاية وانعدام الكفاءة في استهلاك الطاقة.

والنمط الثاني هو حضارة (الإفراط في مستوى الإنترنت)، وهي حضارة تستمر في زيادة استهلاكها للطاقة بلا حدود. وفي النهاية، إذا ما أصبح كوكبها غير قابل للسكنى، فإنها قد تحاول أن تهرب من إسرافها عن طريق التوسع إلى كواكب أخرى. غير أن تكلفة إقامة مستعمرات في الفضاء الخارجي سوف تحد من قدرتها على التوسع. وإذا كان معدل نمو مستوى الإنترنت أسرع من قدرتها على التوسع إلى كواكب أخرى، فإنها ستواجه كارثة مدمرة في نهاية الأمر.

## التحول من السيطرة على الطبيعة إلى الحفاظ على الطبيعة

كما ذكرنا سابقاً أننا، في الأزمنة القديمة، كنا مراقبين سلبيين لقوى الطبيعة، نحدق بتعجب في كل الألغاز الغامضة المحيطة بنا. واليوم أصبحنا أشبه بمنسقين لقوى الطبيعة، قادرين على تطويع بعض قواها هنا وهناك. وبحلول

عام 2100، سوف نصبح أسياداً مسيطرين على الطبيعة، قادرين على نقل الأشياء باستخدام عقولنا، والتحكم في الحياة، والوصول إلى النجوم. لكننا إذا ما أصبحنا أسياداً للطبيعة، فسيكون علينا أيضاً أن نحافظ عليها. أما إذا سمحنا للإنترنت وبيا بالزيادة بلا حدود، فسوف تهلكنا حتماً في نهاية الأمر قوانين الديناميكا الحرارية. إن حضارة النمط الثاني تستهلك، بطبيعتها، طاقة تساوي مقدار طاقة نجم، ولذا فإن درجة حرارة سطح الكوكب سترتفع على نحو جنوبي إذا ما سُمح للإنترنت وبيا بالنمو على نحو مستمر لا كابح له. لكن هناك طرقاً للتحكم في نمو مستوى الإنترنت. فعلى سبيل المثال، عندما نزرور متحفاً ونرى المحركات البخارية الضخمة الباقية من القرن التاسع عشر، بمراجعتها العملاقة وحمولات الفحم الأسود، فإننا ندرك إلى أي مدى كانت تفتقر للكفاءة، إذ تهدر الطاقة وتولد كميات هائلة من الحرارة والتلوث. وإذا قارنا بينها وبين قطار كهربائي هادئ يسير بنعومة وسلاسة، فسنرى إلى أي مدى نستهلك الطاقة بمزيد من الكفاءة اليوم. ويمكننا اليوم تقليل الحاجة إلى مولدات الطاقة التي تستخدم حرق الفحم، والتي تطلق كميات هائلة من الحرارة والتلوث في الهواء، بسرعة كبيرة إذا كانت أجهزة الناس أكثر كفاءة في استهلاك الطاقة من خلال استخدام أنواع الطاقة المتجددة وتصغير أحجام الأجهزة. وتعطينا تكنولوجيا النانو الفرصة لتقليل الحرارة أكثر وأكثر مع تصغير حجم الآلات والأجهزة إلى مستوى الذرة. وكذلك إذا وُجدت الموصلات الفائقة في درجة حرارة الغرفة خلال هذا القرن، فإن هذا يعني تعديلاً كاملاً لمتطلباتنا من الطاقة، فسوف

تقل النفاية الحرارية في صورة احتكاك إلى حد كبير، وذلك على نحو يزيد من كفاءة آلاتنا. فكما ذكرنا من قبل أن القدر الأعظم من طاقتنا، خاصة في مجال النقل، يستهلك في التغلب على الاحتكاك. ولهذا السبب نضع البنزين في خزانات وقود مركباتنا، على الرغم من أن الانتقال من كاليفورنيا إلى نيويورك ما كان ليستهلك أي طاقة تقريباً لو لم يكن هناك احتكاك. ويمكن للمرء حينئذ أن يتخيل أن حضارة متطورة سوف تكون قادرة على إنجاز مهام أكثر بكثير بطاقة أقل من تلك التي نستخدمها اليوم. ويعني هذا أننا قد نكون قادرين على وضع حدود رقمية للإنترنت التي تنتجها حضارة متقدمة.

## التحول الأكثر خطورة

ربما كان التحول من نمط الحضارة صفر الحالي إلى نمط الحضارة الأول المستقبلي هو أعظم تحول في تاريخ البشرية. وسوف يحدد هذا التحول ما إذا كنا سنستمر في النجاح والازدهار أو سنهلك بسبب حماقتنا. ويعد هذا التحول أمراً في غاية الخطورة؛ لأننا مازلنا نمتلك كل همجيتنا الوحشية التي كانت رمزاً النهوضا المؤلم من البدائية. فلو أننا أزلنا قشرة الحضارة التي تغطي مظهرنا، فسرى أن قوى الأصولية، والطائفية، والعنصرية، وعدم التسامح... إلخ، مازالت تمارس عملها في نفوسنا. إن الطبيعة الإنسانية لم تتغير كثيراً خلال 100000 عام مضت، غير أننا نمتلك الآن أسلحة نووية وكيميائية وبيولوجية لتسوية الحسابات القديمة. لكننا بمجرد أن نحقق هذا التحول إلى حضارة النمط الأول، ستكون

لدينا قرونًا عديدة لتسوية خلافاتنا. وكما رأينا في فصول سابقة، ستظل المستعمرات الفضائية باهظة التكلفة في المستقبل، ولذا فإن من غير المحتمل أن نسبة مؤثرة من سكان العالم سترحل لاستيطان المريخ أو حزام الكويكبات. وإلى أن تتسبب تصميمات صاروخية جديدة كليًا في خفض التكلفة أو إلى أن يتم بناء مصعد الفضاء، سيظل السفر إلى الفضاء مجالاً مقتصرًا على الحكومات والأثرياء جدًا. وبالنسبة للأغلبية العظمى من سكان الأرض، فسيعني هذا أنهم سيظلون على سطح الكوكب في الوقت الذي نتقل فيه نحن إلى حضارة النمط الأول، ويعني كذلك أنه ستكون أمامنا قرون طويلة لحل خلافاتنا كحضارة من النمط الأول.

## البحث عن الحكمة

إننا نعيش في زمن مثير؛ فالعلم والتكنولوجيا يفتحان أمامنا عوالم لم يكن بمقدورنا سابقاً سوى أن نحلم بها. لكنه عند النظر إلى مستقبل العلم، بكل تحدياته ومخاطره، أرى أملاً حقيقياً. وسوف نكتشف في العقود القادمة الكثير والكثير عن الطبيعة بشكل أكبر مما اكتشفناه طوال عصور التاريخ البشري السابقة.

لكن الأمر لم يكن كذلك دائماً.

تأمل مثلاً كلمات بنيامين فرانكلين Benjamin Franklin، آخر كبار العلماء/الساسة الأمريكيين، عندما خرج علينا بنبوءة، ليس فقط عن القرن التالي وإنما، عن السنين الألف القادمة. ففي عام 1780، لاحظ فرانكلين بأسف شديد أن البشر كثيراً ما يتصرفون كالذئاب تجاه بعضهم بعضاً، وذلك

في الأساس بسبب العبء الثقيل المتمثل في القدرة على البقاء في عالم قاسٍ.  
كتب فرانكلين يقول:

إن من المستحيل تخيل الارتفاع الذي يمكن أن تصل إليه سيطرة الإنسان على المادة، بعد ألف سنة من الآن، وربما أمكننا أن نتعلم كيفية تجريد الكتل الكبيرة من وزنها، ومنحها خفة مطلقة، من أجل سهولة النقل. وقد يقل عدد العاملين في الزراعة ويزيد الإنتاج الزراعي؛ ويمكن الوقاية من جميع الأمراض أو علاجها بوسائل مؤكدة، بما فيها أمراض الشيخوخة، ومن ثم تطول الحياة التي نعيشها بمتعة وصحة لتتجاوز حتى مستوى أعمار الناس في الزمن السابق للطوفان.

لقد كان يكتب في زمن الفلاحين الذين يعيشون بكد وبؤس في أراضيهم، حين كانت العربات التي تجرها الثيران تنتج محصولاً تالفاً، وكان الطاعون والمجاعات حقائق ثابتة من حقائق الحياة، ولا يتجاوز سن الأربعين سوى قلة محظوظة منهم. (ففي لندن عام 1750، مات ثلثا الأطفال قبل أن يصلوا العمر الخامسة). لقد عاش فرانكلين في وقت كان يبدو فيه أنه لا أمل في حل مشكلات الشيخوخة في يوم من الأيام، أو كانت الحياة - كما كتب توماس هوبس Thomas Hobbes عام 1651 - (مهجورة، فقيرة، بغیضة، وحشية، وقصيرة).

أما اليوم، أي قبل وقت طويل من مرور الأعوام الألف التي تحدث عنها فرانكلين، فيبدو أن نبوءاته بدأت تتحقق.

وقد انعكس هذا اليقين - بأن العقل، والعلم، والفكر سوف تحررنا ذات يوم من طغيان الماضي - على كتاب ماركيز كوندوركت Marquis



de Condorcet الذي حمل اسم (مخطط صورة تاريخية لتقدم العقل البشري) Sketch for a Historical Picture of the Progress of the Human Mind، الذي يزعم البعض أنه أصدق عمل تنبؤي بأحداث المستقبل كتبه بشر على مر العصور. لقد قدم لنا مجموعة واسعة التنوع من النبوءات، جميعها كانت بمثابة بدع وهرطقة، لكنها تحققت جميعاً. لقد تنبأ بأن مستعمرات العالم الجديد سوف تتحرر في النهاية من أسر أوروبا ثم تتقدم سريعاً بفضل التكنولوجيا الأوروبية، وتنبأ كذلك بنهاية العبودية في كل مكان على وجه الأرض، وتنبأ بأن المزارع ستزيد كثيراً من حجم الطعام الذي تنتجه لكل فدان وجودته، وتنبأ بأن العلم سيتقدم بسرعة ويفيد البشرية، وتنبأ بأننا سنتحرر من ضغط الحاجة لكسب قوتنا اليومي وسنمتلك المزيد من وقت الفراغ، وتنبأ بأن فكرة تحديد النسل سوف تنتشر ذات يوم انتشاراً واسعاً.

في عام 1795، بدا أنه لا أمل على الإطلاق في أن تتحقق تلك النبوءات. لقد عاش كل من بنيامين فرانكلين وماركيز كوندوركت في زمن كانت الحياة فيه قصيرة ووحشية، وكان العلم في طور طفولته المبكرة. وبإعادة النظر في تلك النبوءات، يمكننا أن نشعر بالتقدير الكامل تجاه التطورات السريعة التي تحققت في العلوم والتكنولوجيا، والتي أوجدت ما يكفي من الكرم والثروة لرفع مليارات البشر فوق مستوى الهمجية والوحشية التي اتسم بها ماضيها. وبالنظر مرة أخرى إلى عالم فرانكلين وكوندوركت، يمكننا أن نعتبر أنه من بين جميع ابتكارات البشر، فإن الابتكار الأكثر أهمية على الإطلاق كان هو ابتكار العلم، لقد ارتقى بنا العلم من أعماق

مستنقع الهمجية إلى أعتاب النجوم.

غير أن العلم لا يقف ساكنًا أبدًا، فيحلول عام 2100، كما ذكرنا سابقًا، ستكون لدينا قدرة آلهة الأساطير القديمة التي كان الناس يبجلونها ويخشونها في الماضي. وبصفة خاصة، سوف تمنحنا ثورة الكمبيوتر القدرة على التعامل مع الأشياء بعقولنا، وسوف تمنحنا ثورة التكنولوجيا الحيوية القدرة على صنع الحياة حسب الطلب وزيادة فترات حياتنا. وقد تمنحنا ثورة تكنولوجيا النانو القدرة على تغيير شكل الأشياء، بل حتى خلقها من العدم تقريبًا. وقد يؤدي كل هذا في نهاية المطاف إلى نشأة حضارة كوكبية من النمط الأول. ولذا فإن الجيل الذي يعيش على الأرض الآن هو أكثر الأجيال التي عاشت على سطح كوكب الأرض أهمية على الإطلاق؛ لأن هذا الجيل هو من سيحدد ما إذا كنا سنصل إلى حضارة النمط الأول أو سننحدر إلى الهاوية.

لكن العلم نفسه محايد أخلاقيًا؛ فهو سلاح ذو حدين؛ يمكن لأحدهما أن يقضي على الفقر، والمرض، والجهل، لكن الحد الآخر يمكنه أن يقضي على البشر أنفسهم، وتعتمد كيفية استخدام هذا السلاح الفتاك على حكمة من يحملونه في أيديهم.

وكما قال أينشتاين ذات مرة: (يستطيع العلم فقط أن يحدد ما هو كائن، وليس ما ينبغي أن يكون؛ وتظل مسألة تقدير القيمة - الخارجية عن نطاق تأثيره - لا غنى عنها). فالعلم يحل بعض المشكلات ليخلق لنا مشكلات أخرى، لكن على مستوى أعلى.

ولقد رأينا الجانب الفج والمدمر للعلم خلال الحربين العالميتين الأولى

والثانية، فقد شاهد العالم بفزع كيف يستطيع العلم جلب الدمار والخراب على نطاق غير مسبوق، وذلك مع ظهور الغازات السامة، والمدافع الآلية، والتفجيرات التي شملت مدناً بأكملها، بالإضافة إلى القنابل الذرية. لقد أطلقت وحشية النصف الأول من القرن العشرين عنفاً يكاد يكون خارج نطاق التصور أو الإدراك.

لكن العلم أتاح للبشرية في الوقت نفسه إمكانية إعادة البناء والسمو فوق دمار الحرب، على نحو أدى لسلام وازدهار أعظم للمليارات البشر. وهكذا فإن القوة الحقيقية للعلم تكمن في أنه يعطينا القدرة والقوة؛ إذ يعطينا المزيد من الخيارات. فالعلم يعظم روح الابتكار والإبداع والتحمل البشرية، ويمكن كذلك أن يعظم عيوبنا الفاضحة.

## المفتاح إلى المستقبل: الحكمة

الأساس إذن هو إيجاد الحكمة اللازمة لاستخدام سلاح العلم هذا، فكما قال الفيلسوف إيمانويل كانت<sup>(1)</sup> Immanuel Kant ذات مرة: (العلم معرفة منظمة. والحكمة حياة منظمة). ومن وجهة نظري، فإن الحكمة هي القدرة على تحديد القضايا الجوهرية الحاسمة في زمننا، وتحليلها من

(1) إيمانويل كانت Immanuel Kant: فيلسوف ألماني من القرن الثامن عشر، كان آخر فيلسوف مؤثر في أوروبا الحديثة في التسلسل الكلاسيكي لنظرية المعرفة خلال عصر التنوير الذي بدأ بالمفكرين جون لوك، وجورج بركلي، ودفيد هيوم. كون كانت منظوراً واسعاً جديداً في الفلسفة، أثر في الفلسفة حتى القرن الحادي والعشرين. ونشر أعمالاً مهمة عن نظرية المعرفة وكذلك أعمالاً متعلقة بالدين والقانون والتاريخ. أما أحد أكثر أعماله شهرة فهو (نقد العقل المجرد)، والذي كان بمثابة بحث واستقصاء عن حدود وبنية العقل نفسه. قام - الكتاب - بهجوم على الغيبيات التقليدية ونظرية المعرفة. ومن أعماله الرئيسة الأخرى (نقد العقل العملي) الذي ركز على الأخلاق. (المترجم)

وجهات نظر ومنظورات عديدة، ومن ثم اختيار وجهة النظر التي توصل إلى مبادئ وأهداف نبيلة.

ففي مجتمعنا، يعد من الصعب أن ننال الحكمة. وكما قال إيزاك أسيموف ذات مرة: (الجانب الأكثر إثارة للحزن الآن هو أن العلم يراكم المعرفة أكثر مما يكتب المجتمع الحكمة). فعلى عكس المعلومات، لا يمكن توزيع الحكمة من خلال المدونات والثرثرة على الإنترنت. ولما أن غرقنا وسط بحر من المعلومات، غدت السلعة الأكثر قيمة في المجتمع الحديث هي الحكمة. فدون الحكمة والبصيرة، سوف ننجر ف بلا هدف ولا غاية، بشعور الخواء والفراغ بعد أن تتلاشى حادثة المعلومات غير المحدودة.

لكن من أين تنبع الحكمة؟ جزئياً، تنبع الحكمة من النقاش العقلاني الديمقراطي المثقف حول أفكار متعارضة. وكثيراً ما يكون هذا النقاش مشوشاً وغير لائق ودائماً ما يكون صاخباً، لكن تظهر وسط الرعد والضباب بصيرة حقيقية صادقة. ففي مجتمعنا، يظهر هذا النقاش في صورة ديمقراطية، وكما قال ونستون تشرشل: (الديمقراطية هي أسوأ أشكال الحكومات، وذلك إذا ما استثنينا جميع الأشكال الأخرى التي تمت تجربتها بين الحين والآخر).

إن الديمقراطية ليست سهلة؛ فعليك العمل على إنجاحها. وقد قال جورج بيرنارد شو George Bernard Shaw: (الديمقراطية أداة تضمن ألا يتم حكمنا بصورة أفضل مما نستحق).

واليوم، تبرز شبكة الإنترنت - بكل عيوبها وأخطائها - كحارس للحريات الديمقراطية، فالقضايا التي كانت تتم مناقشتها في وقت من الأوقات

وراء الأبواب المغلقة يتم فحصها وتحليلها الآن على آلاف مواقع الويب. ويعيش الحكام المستبدون في حالة هلع من شبكة الإنترنت، مرعوبين مما قد يحدث إذا ثارت شعوبهم عليهم. ولذا فإن كابوس رواية (1984) لجورج أورويل قد انزاح، مع تحول الإنترنت من أداة للإرهاب إلى أداة للديمقراطية.

ووسط تنافر المناقشات والجدل تظهر الحكمة. لكن الوسيلة الأكيدة لتعزيز نقاش ديمقراطي فعال إنما تأتي من خلال التعليم؛ لأن جمهور الناخبين المتعلم هو وحده القادر على اتخاذ القرارات بشأن تقنيات ستحدد مصير حضارتنا. ففي نهاية الأمر، سوف يقرر الناس بأنفسهم إلى أي مدى يتم تطوير تقنية معينة، وفي أي اتجاه يجب أن تتطور، لكن الجمهور المتعلم المثقف هو وحده من يمكنه اتخاذ مثل هذه القرارات بحكمة.

ومع الأسف فإن كثيراً من الناس يجهلون على نحو مؤلم التحديات الهائلة التي تواجهنا في المستقبل، فكيف يمكننا إذن إيجاد صناعات جديدة تحل محل القديمة؟ وكيف سنعد الشباب لسوق العمل في المستقبل؟ وإلى أي مدى يجب أن نحافظ على تطور الهندسة الوراثية البشرية؟ وكيف يمكننا إصلاح نظام تعليمي فاسد ومتدهور لمواجهة تحديات المستقبل؟ وكيف يمكننا مواجهة مشكلة ارتفاع درجة حرارة الأرض أو مشكلة الانتشار النووي؟

إن أساس بناء الديمقراطية هو جمهور الناخبين المتعلم المثقف الذي يمكنه مناقشة قضايا عصرنا بعقلانية وهدوء واتزان. وهدف هذا الكتاب هو المساعدة على بدء النقاش الذي سيقدر الشكل الذي سيتخذه هذا القرن.

## المستقبل كقطار شحن

باختصار، المستقبل ملكنا لنصنعه بأيدينا، وليس هناك شيء مؤكد. وكما كتب ويليام شكسبير<sup>(1)</sup> William Shakespeare في مسرحيته (يوليوس قيصر) Julius Caesar: (المشكلة يا عزيزي بروتس ليست في النجوم، وإنما فينا نحن...). أو كما قال هنري فورد ذات مرة، ربما بقدر أقل من البلاغة: (التاريخ في الغالب ليس أكثر من لغو فارغ، إنه تراث. ونحن لا نريد التراث؛ إننا نريد العيش في الحاضر، والتاريخ الوحيد الذي يستحق الاهتمام هو التاريخ الذي نصنعه اليوم).

وهكذا فإن المستقبل أشبه بقطار شحن عملاق ينطلق بسرعة على سكته، ومتجه صوبنا. وخلف هذا القطار جهد وعرق آلاف العلماء الذين يخترعون المستقبل في معاملهم. ويمكنك كذلك سماع صفير القطار. إنه يلخص كلماته في: تكنولوجيا حيوية، وذكاء اصطناعي، وتكنولوجيا النانو، واتصالات عن بعد. غير أن رد فعل البعض في أن يقول: (إنني عاجز جدًا؛ ولا يمكنني تعلم هذه الأشياء. وسوف أستلقي فحسب ليدهنسي القطار). لكن رد فعل الشباب، والمتحمسين، والطموحين هو قولهم: (أريد الصعود إلى متن هذا القطار! هذا القطار يجسد مستقبلي. إنه مصيري. ضعوني موضع القائد).

(1) ويليام شكسبير William Shakespeare: كبير الشعراء الإنجليز. كان ممثلًا ومؤلفًا مسرحيًا، سبر في مسرحياته أغوار النفس البشرية، وحللها في بناء متساق جعلها أشبه بالسيمفونيات الشعرية. ومن أشهر آثاره الكوميديا (كوميديا الأخطاء)، و(تاجر البندقية). ومن أشهر آثاره التراجيدية (روميو وجوليت)، (يوليوس قيصر)، (هاملت)، (عطيل)، (ماكبت)، و(الملك لير). ويعد شكسبير من أبرز الشخصيات في الأدب العالمي إن لم يكن أبرزها على الإطلاق. ويصعب تحديد عبقريته بمعيار بعينه من معايير النقد الأدبي، والحكمة التي وضعها على لسان شخصيات روايات خالدة في كل زمان. (المترجم)

ولنأمل أن يستخدم البشر الذين سيعيشون في هذا القرن سلاح العلم بحكمة وبلطف وشفقة.

لكنه ربما كان من المفيد أن نعيش يومًا في عام 2100 لنفهم على نحو أفضل كيف يمكن أن نعيش في حضارة كوكبية، ولنرى كيف ستؤثر تلك التقنيات في حياتنا اليومية وحياتنا المهنية وآمالنا وأحلامنا.

## الفصل التاسع





## يوم في حياة عام 2100

«منذ زمن أرسطو<sup>(1)</sup> إلى زمن توماس أكويناس<sup>(2)</sup>، كان الكمال يعني الحكمة الراسخة في التجربة وفي العلاقات التي نتعلم من خلالها الحياة الأخلاقية عن طريق القدوة الحسنة. إن كمالنا لا يكمن في تحسين الجينات، وإنما في تحسين الشخصية»

- ستيفن بوست

### 1 يناير 2100، السادسة والربع صباحا

بعد ليلة من الاحتفالات الصاخبة عشية عيد الميلاد، تغط في نوم عميق. وفجأة، تضئ شاشة الحائط في غرفة نومك، ويظهر وجه ودود مألوف

(1) أرسطو Aristotle: فيلسوف إغريقي، وهو تلميذ أفلاطون ومعلم الإسكندر الأكبر. كتب في العديد من الموضوعات؛ من علوم الفيزياء والميتافيزيقا، والشعر، والمسرح، والموسيقى، والمنطق، والبلاغة، والسياسة والحكومة، والأخلاق، والبيولوجيا، وعلم الحيوان. يعتبر أرسطو، مع أفلاطون وسقراط، واحدًا من أهم الشخصيات في تأسيس الفلسفة الغربية، فقد كان أول من أنشأ نظامًا شاملًا للفلسفة الغربية، يشمل الأخلاق وعلم الجمال والمنطق والسياسة والميتافيزيقا. أما وجهات نظر أرسطو حول العلوم الفيزيائية فقد شكلت بعمق دراسات العصور الوسطى، وامتد تأثيرها إلى عصر النهضة، رغم أن قوانين نيوتن في الفيزياء حلت محلها في نهاية المطاف. وكان لمذهب أرسطو تأثير عميق على الفكر الفلسفي واللاهوتي، وما يزال تأثيره في اللاهوت المسيحي مستمرًا. وجميع جوانب فلسفة أرسطو ما تزال موضع دراسة أكاديمية نشطة حتى اليوم. (المترجم)

(2) توماس أكويناس أو توما الأكويني Thomas Aquinas: قديس وكاهن وفيلسوف لاهوتي إيطالي من الكنيسة الكاثوليكية. يمتاز مذهب توماس الأكويني بالتفريق بين الفلسفة واللاهوت حيث كان يعتبر أن الفلسفة تعتمد على العقل وحده، لكن اللاهوت يعول على الوحي من غير إنكار للعقل، وبهذه الطريقة قرب بين الفلسفة والدين. وكان يثق في العقل القادر على البرهنة على وجود الله وصفاته ويوصل في الوقت ذاته إلى المعرفة اليقينية. استعان توماس بأفكار أرسطو وأفلاطون وابن رشد؛ لأنهم كانوا يعتمدون على العقل السليم. له مؤلفات كثيرة تتناول الفلسفة واللاهوت وفسر معظم كتب أرسطو وشرح أجزاء من الكتاب المقدس. يعتبره العديد من المسيحيين فيلسوف الكنيسة الأعظم لذلك تُسمى باسمه العديد من المؤسسات التعليمية. (المترجم)

على الشاشة. إنها (مولي)، فتاة برنامج الكمبيوتر الذي اشتريته مؤخرًا. تقول لك مولي بمرح: (جون، استيقظ. أنت مطلوب في المكتب؛ بشكل شخصي، فالأمر عاجل).

تزجر أنت قائلاً: (مهلا يا مولي! لا بد أنك تمزحين. إنه أول أيام السنة، وما زال رأسي يعاني الدوار منذ الأمس. أي أمر هذا الذي يمكن أن يكون بهذه الأهمية؟)

تسحب نفسك ببطء خارج الفراش وتتوجه على مضض إلى الحمام. وفي الوقت الذي تغسل أنت فيه وجهك، تبدأ مئات من مستشعرات الحمض النووي والبروتين الخفية الموجودة في المرأة والمرحاض والحوض عملها في صمت، فتحلل الجزيئات التي تلفظها أثناء تنفسك وكذلك سوائل الجسم، بحثًا عن أي علامة مرضية على المستوى الجزيئي.

وعند مغادرة الحمام، تلف بعض الأسلاك حول رأسك، وهي الأسلاك التي تتيح لك التحكم في منزلك من خلال التخاطر الذهني: تقوم برفع درجة حرارة الشقة التي تقطنها، وتشغل بعض الموسيقى المهدئة، وتخبر الطاهي الآلي في مطبخك أن يجهز الإفطار وأن يصنع لك بعض القهوة، وتأمر سيارتك المغناطيسية بترك الجراج والاستعداد لإقلاقك. وعندما تدخل المطبخ، ترى الأذرع الميكانيكية للطاهي الآلي تعد البيض بالطريقة التي تحبها بالضبط.

تضع بعد ذلك عدسات الاتصال الخاصة بك وتتصل بشبكة الإنترنت. وعندما تطرف عينيك، ترى الشبكة تسطع على شبكية عينيك. وفي

الوقت نفسه الذي تتناول فيه القهوة الساخنة، تبدأ في استعراض العناوين التي تتألق على عدسات الاتصال.

القاعدة الأمامية على سطح المريخ تطلب المزيد من الإمدادات. الشتاء على المريخ يقترب بسرعة؛ وإذا كان المستوطنون يرغبون في إكمال المرحلة التالية من عملية الاستيطان، فإنهم يحتاجون إلى المزيد من الموارد من الأرض للتغلب على الطقس البارد إلى حد التجمد هناك. وتتلخص الخطة في بدء المرحلة الأولى من عملية تحويل مناخ المريخ عن طريق رفع درجة حرارة سطحه.

مركبة الفضاء النجمية الأولى جاهزة للانطلاق. سيتم إطلاق ملايين من النانوبوتات، كل منها بحجم رأس الدبوس، من القاعدة القمرية، وستدور حول المشتري بواسطة مجالها المغناطيسي، ثم تتوجه نحو نجم قريب منه. غير أنه ستمر سنوات قبل أن تصل حفنة قليلة من تلك النانوبوتات إلى وجهتها في نظام شمسي آخر.

حيوان منقرض آخر سينضم إلى حديقة الحيوان المحلية. وهذه المرة، الحيوان هو نمر مسيف الأسنان نادر، تمت إعادته للحياة من خلال حمضه النووي الذي وُجد متجمداً في سهل التندرة في القطب الشمالي. فبسبب ارتفاع درجة حرارة الأرض، أمكن استعادة الحمض النووي للمزيد والمزيد من الحيوانات المنقرضة ومن ثم استنساخ تلك الحيوانات لثملاً لحقائق الحيوان في جميع أنحاء العالم.

مصعد الفضاء - بعد سنوات من نقل الحمولات إلى الفضاء - يتيح المصعد الآن لعدد محدود من السائحين السفر إلى الفضاء. لقد انخفضت

تكلفة السفر إلى الفضاء بالفعل أكثر من خمسين ضعفاً منذ تم تدشين مصعد الفضاء.

أقدم مفاعلات الاندماج النووي يبلغ اليوم خمسين عاماً. وقد حان الوقت للبدء في إحالة بعضها للتقاعد وبناء مفاعلات جديدة.

العلماء يراقبون بعناية فيروس قاتل جديد ظهر فجأة في الأمازون. ويبدو انتشار الفيروس، حتى الآن، مقتصرًا على منطقة صغيرة، ولم يكتشف له علاج بعد. وتعمل فرق من الخبراء بكد شديد على دراسة ترتيب جينات الفيروس لمعرفة نقاط ضعفه وكيفية مكافحته.

وفجأة، يجذب خبر واحد انتباهك بشدة:

تم اكتشاف تسرب ضخم على نحو غير متوقع في السدود المحيطة بمانهاتن. وما لم يتم إصلاح السدود، يمكن أن تغرق المدينة كلها، كعشرات المدن الأخرى التي غرقت في الماضي.

تقول محدثًا نفسك: (آه، لهذا السبب إذن اتصلوا بي من الشركة وأيقظوني).

تجاهل الإفطار، وترتدي ملابسك، وتندفع كالقذيفة عبر الباب؛ إذ تنتظرك سيارتك، التي أخرجت نفسها بنفسها من الجراج، خارج المنزل. تأمر سيارتك ذهنيًا بأن تقلك إلى مكتبك بأقصى سرعة ممكنة. وتتصل السيارة المغناطيسية حينئذ بشبكة الإنترنت، ونظام تحديد المواقع، ومليارات الرقائق المخفية في الطريق والتي تراقب حركة المرور على الدوام.

تطلق سيارتك المغناطيسية بصمت، طافية على وسادة مغناطيسية

أوجدتها أرضية الطريق المصنوعة من مواد فائقة التوصيل. وفجأة يظهر وجه (مولي) على الزجاج الأمامي لسيارتك وتقول: (جون، آخر رسالة واردة من المكتب تخبرك بمقابلة الآخرين في قاعة المؤتمرات. ولديك أيضاً رسالة فيديو من شقيقتك).

وفي ظل قيادة السيارة لنفسها آلياً، لديك الوقت الكافي لاستعراض رسالة الفيديو التي أرسلتها أختك. تظهر صورتها على ساعة معصمك، وتقول لك: (جون، تذكر أن لدينا في عطلة نهاية الأسبوع حفل عيد ميلاد كيفين، حيث بلغ السادسة من عمره الآن. لقد وعدته بأن تبتاع له أحدث كلب آلي في السوق. وبالمناسبة، هل لديك أي علاقة الآن؟ لقد كنت ألعب البريدج على الإنترنت، وقابلت فتاة قد تعجبك).

تقول لنفسك: (أوه).

فأنت تحب التجول بسيارتك المغناطيسية؛ فليست هناك مطبات أو نقر في الطريق لتقلق بشأنها؛ لأن السيارة تخلق فوق الطريق. وأفضل ما في الأمر أنك نادراً ما تحتاج لإعادة التزود بالوقود؛ فليس هناك تقريباً أي احتكاك يبطئ سرعة السيارة ويستهلك طاقتها (تقول لنفسك متأملاً إن من الصعب التصديق بأنه كانت هناك أزمة طاقة في مطلع القرن. وتهز رأسك مدركاً أن القدر الأعظم من الطاقة في ذلك الوقت كان يضيع في التغلب على الاحتكاك).

تتذكر عندما تم افتتاح الطريق السريع المصنوع من المواد فائقة التوصيل لأول مرة. حينها رثت وسائل الإعلام نهاية عصر الكهرباء المؤلف، وبداية عصر المغناطيسية الجديد. وفي الواقع، أنك لم تفتقد

مطلقاً عصر الكهرباء. وعندما تلقى نظرة سريعة خارج سيارتك، وترى السيارات اللامعة، والشاحنات، والقطارات تنطلق إلى جانبك في الهواء، تدرك أن المغناطيسية هي التكنولوجيا المنشودة، كما أنها توفر المال أيضاً.

تجتاز سيارتك المغناطيسية مقلب نفايات المدينة الآن؛ حيث تلاحظ أن معظم النفايات هناك عبارة عن أجهزة كمبيوتر وأجزاء روبوتات آلية. ولما كانت الرقائق تكاد لا تكلف أي شيء - إذ تكلفتها أقل من تكلفة الماء - فإن الرقائق القديمة تتكدس في مقالب النفايات في جميع أنحاء العالم. وهناك حديث حول استخدامها في ردم الأرض.

## في المكتب

أخيراً تصل إلى البناية التي يوجد فيها مكتبك، وهي المقر الرئيس لشركة مقاولات كبرى. ومع دخول المبنى، لا تكاد تلاحظ أن شعاع ليزر يفحص قزحية عينك ويتحقق من وجهك. فلم تعد هناك حاجة لبطاقات الأمان البلاستيكية؛ فهويتك هي جسدك.

تكاد قاعة المؤتمرات تكون خالية، إذ لا يوجد بها سوى عدد قليل من زملائك يجلسون حول المائدة. ولكن بعد ذلك، وعبر عدسات الاتصال، تبدأ الصور ثلاثية الأبعاد للمشاركين في المؤتمر في التجسد حول المائدة. فهؤلاء الذين لا يمكنهم الحضور مادياً إلى المكتب يحضرون في شكل صور ثلاثية الأبعاد.

تنجول بناظريك سريعاً في أرجاء القاعة؛ وتتعرف عدسة الاتصال التي

تضعها على جميع الجالسين حول المائدة، وتعرض لك سيرهم الذاتية وتاريخهم المهني. تلاحظ أن بعض كبار الشخصيات يحضرون هذا المؤتمر؛ فتدون ملحوظة ذهنية حول أهمية الحاضرين.

وفجأة تتجسد صورة رئيسك جالسًا في مقعده، ثم يقول: (أيها السادة، كما سمعتم على الأرجح، فإن هناك تسريبات مفاجئة في السدود المحيطة بمانهاتن. الأمر خطير، ولكننا اكتشفناه في الوقت المناسب، لذا ليس هناك خوف من انهيار السدود. ولكن مع الأسف، فشلت الروبوتات التي أرسلناها لأسفل لإصلاح السدود في مهمتها).

وعلى الفور، تخفت الأضواء، وتحيط بك صورة ثلاثية الأبعاد لقاع السد تحت الماء. وتجذ نفسك غارقًا تمامًا في الماء، وصورة السد والشرح الضخم فيه بارزة أمام عينيك.

ومع دوران الصورة، ترى بالتحديد أين وقع التسرب. ترى شقًا كبيرًا غريبًا في السد يلفت انتباهك. ويتابع رئيسك حديثه قائلاً: (الروبوتات الآلية ليست كافية. فهذا النوع من التسرب ليس جزءًا من برمجتها. إننا بحاجة لإرسال رجال مخضرمين يمكنهم فهم وتحليل الموقف والتصرف بصورة ارتجالية. ولست بحاجة لتذكيركم أننا إذا فشلنا، فإن مدينة نيويورك يمكن أن تواجه المصير ذاته الذي واجهته مدن كبرى أخرى، أصبح بعضها الآن غارقًا تحت الماء).

تسري رجة في أجساد أفراد المجموعة. فالجميع يعرفون أسماء المدن الكبرى التي كان لابد من هجرها مع ارتفاع مستوى سطح البحر. ورغم أن التقنيات المتجددة وطاقة الاندماج حلت محل الوقود الأحفوري منذ



عقود عديدة مضت باعتبارها المصدر الرئيس لطاقة كوكب الأرض، فلازال الناس يعانون من غاز ثاني أكسيد الكربون الذي أُطلق في الجو بالفعل خلال الجزء الأول من القرن الأخير.

وبعد مناقشة مستفيضة، اتخذ قرار بإرسال طاقم الإصلاح الآلي الذي يتحكم فيه البشر. وهنا يأتي دورك. لقد أسهمت في تصميم تلك الروبوتات الآلية؛ إذ يتم وضع عمال بشريين مدربين في حجرات، حيث توضع أقطاب كهربائية حول رؤوسهم؛ وتتيح لهم إشارات المخ الاتصال بالروبوتات عن طريق التخاطر الذهني. ومن داخل حجراتهم، يستطيع العمال رؤية كل شيء والشعور بكل شيء تراه الروبوتات وتشعر به. الأمر أشبه بالتواجد في المكان بنفسك، ولكن بجسد جديد فائق القدرة.

أنت فخور بعملك هذا، وحق لك أن تفخر؛ فقد أثبتت تلك الروبوتات الآلية التي يتم التحكم فيها بالتخاطر الذهني قيمتها وجدارتها مرات عديدة. فمن المعروف أنه يتم التحكم في القاعدة القمرية إلى حد كبير عن طريق عمال من البشر، يستلقون بارتياح وأمان داخل حجرات موجودة على سطح الأرض. ولكنه لما كانت الإشارات اللاسلكية تستغرق نحو ثانية واحدة للوصول إلى القمر، فإن ذلك يعني أيضًا أنه لا بد من تدريب هؤلاء العمال على التكيف مع هذا التأخير الزمني.

(كنت تود أن يتم وضع تلك الروبوتات على متن القاعدة الموجودة على كوكب المريخ أيضًا؛ ولكن لما كانت الإشارات تستغرق عشرين دقيقة

للوصول إلى المريخ وعشرين دقيقة أخرى لتلقي الإشارات القادمة منه، كان القرار النهائي أن التواصل مع الروبوتات على سطح المريخ سيكون في غاية الصعوبة. فمع الأسف، رغم كل التقدم الذي حققناه، فهناك أمر واحد لا يمكننا تغييره؛ وهو سرعة الضوء). ولكن هناك شيئاً واحداً ما يزال يؤرقك في الاجتماع.

وأخيراً، تستجمع شجاعتك لمقاطعة رئيسك، فتقول: (سيدي، أكره أن أقول هذا، ولكن بالنظر إلى التسرب في السد، يبدو الصدع شبيهاً على نحو مريب بعلامة تركها أحد الروبوتات التابعة لنا).

تسري همهمة عالية على الفور وسط القاعة؛ ويمكنك سماع الاعتراضات الصاخبة. تعجب الحضور معترضين: (روبوت تابع لنا؟ هذا مستحيل. غير معقول. هذا لم يحدث أبداً من قبل).

وعندئذ يهدئ رئيسك الحاضرين في القاعة ويقول بوقار: (كنت أخشى أن يشير أحدكم هذه النقطة، لذا دعوني أخبركم بأن هذا الأمر في غاية الأهمية، ولا بد من التكم عليه بسرية مطلقة. لا يجب أن تتجاوز تلك المعلومة جدران هذه القاعة، إلى أن نصدر بياناً صحفي الخاص. نعم، هذا التسرب تسبب فيه أحد الروبوتات الآلية التابعة لنا والذي خرج فجأة عن نطاق سيطرتنا).

ساد الهرج قاعة الاجتماعات، وأخذ الحضور يهزون رؤوسهم بعدم التصديق. كيف يمكن أن يحدث هذا؟

يقول رئيسك مؤكداً بإصرار: (لقد تمتعت روبوتاتنا الآلية بسجل أداء مثالي؛ سجل نقي لا تشوبه أي شائبة. لم يتسبب روبوت واحد قبل ذلك في

أي ضرر على الإطلاق، فآليات الأمان بها أثبتت فعاليتها مراراً وتكراراً، ونحن نؤيد هذا السجل. ولكن كما تعرفون، فإن آخر أجيال الروبوتات المتطورة تستخدم أجهزة كمبيوتر كمية، وهي أقوى الأجهزة الموجودة، والتي تقترب من مستوى الذكاء البشري. وفي نظرية الكم، هناك دائماً احتمال ضئيل ولكنه مؤكد بأن خطأ ما سوف يحدث. والخطأ هذه المرة هو حالة من الهياج).  
تراجع في مقعدك وقد صدمك هذا الخبر.

## العودة إلى المنزل

لقد كان يوماً طويلاً، انقضى في تنظيم طاقم الإصلاح الآلي لعلاج التسرب، ثم المساهمة في تعطيل جميع الروبوتات التجريبية التي تستخدم أجهزة الكمبيوتر الكمية، وذلك على الأقل إلى أن يتم حل تلك المشكلة في النهاية. وأخيراً تعود إلى المنزل مرة أخرى، تشعر بالإرهاق. وفي الوقت الذي تغوص فيه باسترخاء في أريكتك المريحة، تظهر مولى على شاشة الحائط قائلة: (جون، لديك رسالة مهمة من د. براون).

د. براون؟ ما الذي يريد ذلك الطبيب الآلي أن يقوله؟  
تقول لمولى: (ضعيه على الشاشة). ويظهر طبيبك على شاشة الحائط. يبدو مظهر (د. براون) حقيقياً للغاية لدرجة أنك أحياناً تنسى أنه مجرد برنامج كمبيوتر.

يقول د. براون: (معذرة على إزعاجك يا جون، ولكن هناك أمراً أريد

أن أنبهك إليه، هل تذكر حادث التزلج الذي تعرضت له العام الماضي؛ ذلك الذي كاد أن يودي بحياتك؟

وكيف لك أن تنسى؟ فأنت ما تزال تنكمش شاعرًا بالخزي عندما تتذكر كيف اصطدمت بشجرة حينما كنت تتزلج فيما تبقى من جبال الألب. فقد ذاب معظم جليد منطقة الألب بالفعل، لقد كان عليك اختيار منتجع غير مألوف على ارتفاع كبير للغاية، ولكن لأنك لم تكن معتادًا على المنطقة، فقد تعثرت وسقطت على المنحدر وارتطمت بمجموعة من الأشجار بسرعة أربعين ميلا في الساعة. أوه!

ويتابع د. براون حديثه قائلا: (تبين التقارير التي لدي أنك سقطت فاقدًا الوعي، وأصبحت بارتجاج في المخ وبجروح داخلية خطيرة، غير أن ملابسك أنقذت حياتك).

وعلى الرغم من أنك كنت فاقدًا للوعي، فقد اتصلت ملابسك تلقائيًا لاستدعاء سيارة إسعاف، وقامت بتحميل تاريخك الطبي، وحددت إحداثيات موقعك بدقة فائقة. وبعد ذلك، في المستشفى قامت الروبوتات الآلية بجراحة مجهرية دقيقة لإيقاف النزيف، وترقيع الأوعية الدموية الصغيرة الممزقة، وعلاج الأضرار الأخرى.

ويضيف د. براون مذكرًا إياك: (لقد تضررت معدتك وكبدك وأمعائك على نحو لا يمكن إصلاحه. ومن حسن الطالع أن أمكننا زراعة مجموعة جديدة من الأعضاء لك في الوقت المناسب).

وفجأة تشعر أنك شبيه بالروبوت إلى حد ما، فقسم كبير من جسدك مصنوع من أعضاء مزروعة في مصنع للأنسجة.

ويرد د. براون: (وتظهر سجلاتي أيضاً يا جون أنه كان بإمكانك استبدال ذراع ميكانيكية كاملة بذراعك المحطمة، وكانت أحدث الأذرع الآلية حينها ستزيد من قوة ذراعك خمسة أضعاف، ولكنك رفضت هذا).

ترد قائلاً: (نعم، أظنني لازلت شخصاً من الطراز القديم، إنني أفضل أنسجة الجسد الطبيعية على الحديد دائماً).

يقول د. براون: (جون، علينا أن نجري فحصاً دورياً لأعضائك الجديدة. التقط جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي ومرره ببطء على منطقة البطن).

تذهب إلى الحمام وتلتقط جهازاً صغيراً، بحجم الهاتف المحمول تقريباً، وتمرره ببطء على أعضائك. وعلى الفور ترى على شاشة الحائط الصورة ثلاثية الأبعاد لأعضاء جسدك من الداخل.

يقول د. براون: (سنحلل تلك الصور يا جون لنرى كيف يتعافى جسدك من إصاباته القديمة. وبالمناسبة، فإن مستشعرات الحمض النووي الموجودة في حمائمك قد اكتشفت سرطاناً ينمو في البنكرياس).

تعتدل فجأة منتصباً وتقول مندهشاً: (سرطان؟ ولكنني كنت أظن أن السرطان تم علاجه منذ سنوات مضت. بل إن أحداً لم يعد يتحدث عنه هذه الأيام. كيف أصاب بالسرطان إذن؟).

يجيب د. براون بلا انفعالات: (في الواقع، أن العلماء لم يتوصلوا قط لعلاج للسرطان. دعنا فقط نقول إننا في هدنة معه، إنه مأزق لا فكاك منه. فهناك عدد هائل من أنواع السرطان؛ تماماً مثل البرد

العادي، فهو أيضاً لا علاج له، بل إننا نتجنبه فقط ونبقيه بعيداً عنا. ولقد طلبت بعض جسيمات النانو للتخلص من تلك الخلايا السرطانية، والتي لا يزيد عددها على بضع مئات، إنه مجرد إجراء روتيني، ولكن من الأرجح أنك ستموت في غضون سبع سنوات دون هذا التدخل).

تقول لنفسك: (حسناً، هذا مريح).

ويرد د. براون: (نعم، لقد أصبح بمقدورنا اليوم التعرف على السرطان قبل سنوات من تشكل الورم الخبيث).

تساءل قائلاً: (ورم خبيث؟ وما معنى الورم الخبيث؟)

ويجيب د. براون: (تلك كلمة عتيقة لنوع من السرطانات المتقدمة، لقد كادت تختفي من اللغة؛ فلم نعد نراها).

ووسط كل هذه الإثارة تتذكر أن شقيقتك هددت بأن توقعك في علاقة مع فتاة ما؛ ومن ثم تستدعي (مولي) مرة أخرى، قائلاً: (مولي، إنني غير مرتبط بأي شيء في عطلة نهاية الأسبوع، فهل يمكن أن تجدي لي إنسانة لأواعدها؟ أنت تعرفين نوعية الفتيات اللاتي أفضلهن).

وتجيب مولي: (نعم، تفضيلاتك مبرمجة في ذاكرتي. انتظر دقيقة ريثما أبحث على الإنترنت). وبعد دقيقة، تعرض عليك مولي لمحات عن المرشحات المحتملات الجالسات بدورهن أمام شاشات الحائط الخاصة بهن، واللاتي تطلبن الشيء نفسه.

وبعد استعراض المرشحات، تختار في النهاية واحدة تروق لك، وتفكر

في نفسك أن تلك الفتاة، التي تدعى كارين، تبدو مميزة بطريقة ما، ثم تقول لمولي: (مولي، أرسلني إلى كارين رسالة مهذبة؛ أسأليها فيها عما إذا كانت متاحة في عطلة نهاية الأسبوع أو لا. هناك مطعم جديد افتتح مؤخرًا وأريد تجربة الطعام فيه).

ومن ثم ترسل مولي نبذة عنك إلى كارين في رسالة فيديو. وفي تلك الليلة، تقرر تخفيف حدة توترك بدعوة بعض زملائك إلى منزلك لتناول المشروبات ومشاهدة مباراة في كرة القدم. لقد كان من الممكن أن يشاهد أصدقائك المباراة في غرفة معيشتك من خلال الظهور بصور ثلاثية الأبعاد فحسب، ولكن تشجيع الفريق يكون أكثر متعة حين يجتمع الأصدقاء ويتشاركون في الإثارة ماديًا. وحين تفكر في هذا، تبسم وأنت تتخيل أن الحال كانت كذلك على الأرجح منذ مئات السنين، حين كان البشر البدائيون بحاجة للارتباط ببعضهم بعضًا.

وفجأة تضيء حجرة المعيشة بأكملها ويبدو وكأنك قد انتقلت إلى ملعب الكرة، عند خط الخمسين ياردة. وفيما يمرر الظهير الرباعي تمريرة أمامية، تجد نفسك واقفًا إلى جواره. واللعبة كلها تدور من حولك.

وخلال فترة الاستراحة، تبدأ أنت وأصدقائك في تقييم اللاعبين. تتجادلون بحرارة أثناء تناول المشروبات والفشار حول الفريق الأفضل تدريبًا، صاحب أفضل المدربين وأفضل طيب. وتتفقون جميعًا على أن فريق مدينتكم هو الأفضل، وصاحب أفضل المواهب في الدوري، وأفضل

مهارات يمكن أن يشتريها المال.

ولكنك، بعد مغادرة الأصدقاء، ما تزال تشعر بإثارة تمنعك من النوم؛ ومن ثم تقرر أن تلعب لعبة بوكر سريعة قبل أن تذهب للنوم. تقول لمولي: (مولي، الوقت متأخر، ولكنني أريد لعب البوكر. أشعر بأنني محظوظ، ولا بد أن أحدهم مستيقظ في إنجلترا أو الصين أو الهند أو روسيا ويرغب في لعب بضعة أدوار الآن).

وترد مولي: (ليست هناك مشكلة). ويظهر أمامك على الشاشة عدد من الوجوه المبشرة. ومع تجسد الصور ثلاثية الأبعاد للاعبين في غرفة معيشتك، تستمتع أنت بمعرفة أي اللاعبين أبرع في الخداع. وتقول محدثاً نفسك إنه مما يثير السخرية أنك أكثر معرفة بأناس في بلدان بعيدة، على مسافة آلاف الأميال، من معرفتك بجيرانك القريبين، فلم تعد الحدود الوطنية تعني الكثير هذه الأيام.

وأخيراً، وقبل أن تذهب إلى النوم مباشرة، تقاطعك (مولي) مرة أخرى، إذ ظهرت أمامك في مرآة الحمام.

تقول مولي: (جون، لقد قبلت كارين دعوتك؛ وتم إعداد كل شيء لعطلة نهاية الأسبوع، سأقوم بالحجز في ذلك المطعم الجديد. هل ترغب في رؤية النبذة التي كتبته عن نفسها؟ هل تريد مني أن أبحث على الإنترنت للتأكد من صحة المعلومات التي جاءت في تلك النبذة؟ لقد اعتاد الناس أن.. معذرة.. يكذبوا فيما يكتبونه عن أنفسهم).

وترد قائلاً: (كلا. فلنترك الأمر مفاجأة في العطلة الأسبوعية). وبعد لعبة البوكر، تشعر مرة أخرى أنك محظوظ.



## عطلة نهاية الأسبوع

اليوم هو يوم العطلة، وقد حان وقت الذهاب إلى التسوق وشراء هدية لابن شقيقتك كيفين، فتقول: (مولي، ضعي مركز التسوق على الشاشة).

فجأة يظهر مركز التسوق على شاشة الحائط، وتلوح أنت بذراعيك وأصابعك في الهواء، وتبدأ الصورة الموجودة على شاشة الحائط في تعقب المسار الذي ترسمه داخل المركز. تقوم بجولة افتراضية داخل مركز التسوق إلى أن تصل إلى صورة متجر الألعاب. نعم، إن لديهم ألعاب الحيوانات الآلية التي تريدها بالضبط. تأمر سيارتك ذهنيًا بأن تصطحبك إلى مركز التسوق (كان بمقدورك أن تطلب شراء اللعبة عبر الشبكة؛ أو أن يتم إرسال التخطيطات إلكترونياً، ومن ثم تأمر جهاز التصنيع الخاص بك يقوم بصنع اللعبة في المنزل باستخدام مواد قابلة للبرمجة. ولكن من اللطيف دائماً أن تخرج من الشقة وتذهب للتسوق بين الحين والآخر).

وأثناء التجول بسيارتك المغناطيسية، تتطلع خارج السيارة وترى أناساً يتنزهون، إنه يوم جميل. وكذلك ترى روبوتات آلية من جميع الأنواع؛ روبوتات لتمشية الكلاب، وروبوتات تعمل كبائعين، وروبوتات تقوم بالطهي، وأخرى تعمل كموظفي استقبال، وغير ذلك كثير. يبدو الأمر وكأن كل مهمة تنطوي على خطورة أو تتسم بالتكرار أو تحتاج فقط لأقل قدر من التفاعل البشري ليتم أدائها بواسطة الروبوتات الآلية. وفي الحقيقة، أن الروبوتات أصبحت الآن تجارة رائجة، ففي كل مكان حولك،

تري إعلانات لأشخاص يمكنهم القيام بعمليات إصلاح الروبوتات، أو تقديم خدماتها، أو تحديثها، أو صنعها. ويتوافر لأي شخص يعمل في مجال الروبوتات مستقبل باهر، فقد أصبحت صناعة الروبوتات أكبر من صناعة السيارات في القرن السابق. ولعلك تدرك جيداً أن معظم الروبوتات تعمل في صمت مخفية عن الأنظار؛ على إصلاح البنية الأساسية للمدينة وتقديم الخدمات الأساسية.

وعندما تصل إلى متجر الألعاب، يستقبلك روبوت آلي عند المدخل، ويسألك: (هل يمكنني مساعدتك؟).  
فترد قائلاً: (نعم، أريد شراء كلب آلي).

تلقي نظرة على أحدث الكلاب الآلية؛ وتحدث نفسك قائلاً، كم هو مدهش ما تستطيع تلك الحيوانات الأليفة الآلية فعله. إنها قادرة على اللعب والجري وإحضار الأشياء، وفعل كل شيء تستطيع الكلاب الحقيقية فعله؛ بالفعل كل شيء باستثناء التبول على السجاد. وتفكر أن هذا تحديداً ربما كان هو السبب الذي يجعل الآباء يشترونها لأطفالهم.

ثم تقول للموظف الآلي: (سأشتري كلباً آلياً لابن شقيقتي البالغ من العمر ست سنوات. إنه طفل ذكي للغاية، ويحب التعلم بتجربة الأشياء بنفسه، ولكنه أحياناً يكون خجولاً وهادئاً أيضاً. فما نوع الكلب الذي يمكنه مساعدته في التغلب على انطوائه؟)

ويجيب الروبوت قائلاً: (معذرة يا سيدي. هذا أمر خارج نطاق برمجي. هل تود أن أعرض عليك لعبة فضائية قد تثير اهتمامك؟)

لقد نسيت أن الروبوتات الآلية، بصرف النظر عن استخداماتها المتعددة،

أمامها شوط طويل تقطعه لتتمكن من فهم السلوكيات البشرية. وبعد ذلك، تذهب إلى متجر ملابس الرجال، فقد حان الوقت لاستبدال تلك الحلة العتيقة التي ترتديها وذلك إذا كنت ترغب بالفعل في إثارة إعجاب الإنسنة التي ستقابلها. تجرب بعض البدلات جيدة التصميم؛ وجميعها تبدو أنيقة عليك، ولكن ليس ثمة منها ما يناسب مقاسك. تشعر بخيبة الأمل؛ ولكنك تخرج بطاقتك الائتمانية، التي تحتوي على جميع مقاييسك ثلاثية الأبعاد، وتتم تغذية الكمبيوتر بالبيانات، ومن ثم يتم تفصيل حلة جديدة أعدت خصيصاً من أجلك في المصنع، وسرعان ما سيتم توصيلها إلى منزلك؛ وفقاً لمقاييسك المثالية كما يحدث كل مرة.

وأخيراً، تذهب إلى السوبر ماركت، وتستعرض جميع الشرائح المخفية داخل كل عبوة بلاستيكية، ثم تقارن الأسعار من خلال عدسات الاتصال لترى أي متجر في المدينة يقدم أرخص الأسعار وأفضل المنتجات، فلم يعد هناك مجال لتخمين الجهة التي تقدم أرخص الأسعار.

## الموعد

لقد كنت تنتظر هذا الموعد بلهفة طوال الأسبوع، وفي الوقت الذي تستعد فيه لمقابلة كارين، يدهشك أنك تشعر وكأنك عدت صبياً في المدرسة. وتفكر فيما لو أنك ستدعوها إلى شقتك بعد تناول العشاء، فسيكون حينئذ عليك أن تقوم بعملية إعادة تصميم لأثاث منزلك العتيق. ومن حسن الحظ أن معظم طاولات المطبخ وقطع الأثاث في غرفة المعيشة

مصنوعة من مواد قابلة للبرمجة.

تقول: (مولي، هل يمكن أن تعرضي لي نماذج لموائد المطبخ الجديدة وقطع الأثاث التي تعرضها الشركات؟ إنني أريد إعادة برمجة الأثاث؛ فإنه يبدو قديماً للغاية).

وسرعان ما تظهر صور أحدث تصميمات الأثاث على الشاشة. تقول: (مولي، من فضلك قومي بتنزيل تخطيطات هذه المائدة، وتلك الاريقة، وتلك الطاولة، ثم قومي بتثبيتها).

وفي الوقت الذي تستعد فيه لموعدك، تقوم مولي بتنزيل وتثبيت التخطيطات. وعلى الفور، تبدأ مائدة المطبخ، وأريكة غرفة المعيشة، والطاولة في التحلل، والتحول إلى شيء يشبه المعجون، ثم تعود للتشكل مرة أخرى تدريجياً وفقاً للأشكال الجديدة. وفي غضون ساعة، أصبحت شقتك تبدو جديدة تماماً (ولعلك تذكر عندما قمت مؤخراً باستعراض قطاع العقارات على الإنترنت، ولاحظت أن المنازل المصنوعة من مواد قابلة للبرمجة أصبحت موضوعة وانتشرت على نطاق واسع. وفي الواقع، أنه في شركة الهندسة التي تعمل فيها أنت نفسك، هناك خطط طموحة لإنشاء مدينة كاملة في الصحراء باستخدام المواد القابلة للبرمجة. فقط اضغط زرًا، يا للهول!، ها هي المدينة).

غير أنك ترى أن شقتك ما تزال باهتة إلى حد ما؛ فتلوح بيدك، وعلى الفور يتغير لون وشكل ورق الحائط. وتحدث نفسك قائلاً إن امتلاك ورق حائط ذكي أفضل كثيراً بالتأكيد من الاضطرار إلى إعادة طلاء الجدران. تمسك ببعض الزهور في الطريق، وأخيراً تقابل الإنسانية التي واعدتها؛ فتجد مفاجأة سارة في انتظارك، لقد انسجمت معها على الفور، فهناك

شيء ما يجذبك إليها.

وعلى العشاء، تكتشف أن كارين فنانة. ثم تخبرك مازحة أنها عادة ما تكون مفلسة وتتضور جوعاً، وتبيع لوحاتها على الرصيف مقابل مبالغ تافهة. ولكنها في الحقيقة مصممة ويب غاية في النجاح. بل إنها تمتلك شركة خاصة أيضاً. يبدو أن الناس جميعاً مهتمون بأحدث تصميمات الويب، فهناك إقبال هائل على هذه الفنون الإبداعية.

ترسم كارين بأصابعها بعض الدوائر في الهواء، وسرعان ما تظهر بعض رسومها في الفراغ؛ فتقول مزهوة: (تلك بعض أحدث إبداعاتي).

وتلتقط أنت طرف الحديث قائلاً: (أتعلمين، باعتباري مهندساً، فإنني أعمل مع الروبوتات طوال الوقت. إن بعض هذه الروبوتات متطورة للغاية، ولكنه من الممكن أيضاً أن يتصرف بحماقة شديدة في بعض الأحيان. فماذا عن مجال عملك؟ هل تغزو الروبوتات؟)

ترد معترضة: (على الإطلاق). تقول كارين إنها تعمل فقط وعلى نحو حصري مع البشر المبدعين، حيث السلعة الأكثر قيمة وأهمية هي الخيال البشري، وهو شيء تفتقر إليه أكثر الروبوتات تطوراً.

تقول كارين باعتداد: (قد أكون عتيقة الطراز، ولكن في مجال عملي، نستخدم الروبوتات فقط في صنع النسخ أو الأعمال الكتابية. أود أن أرى ذلك اليوم الذي تستطيع فيه الروبوتات القيام بعمل إبداعي حقيقي، كأن تلقي نكتة مثلاً، أو تكتب رواية، أو تؤلف مقطوعة موسيقية).

تفكر فيما بينك وبين نفسك أن هذا لم يحدث بعد، لكنه قد يحدث في يوم من الأيام.

وفي الوقت الذي نتحدث فيه كارين، يطرأ على ذهنك سؤال مضمونه كم يبلغ عمرها؟ لاسيما بعد أن غدا من الممكن منذ سنوات طويلة مضت إبطاء مرحلة الشيخوخة طبيًا، وغدا من الصعب على الناس إدراك السن الحقيقي لبعضهم بعضًا. كما أن موقع الويب الخاص بكارين لم يذكر عمرها، لكنها لا تبدو فوق الخامسة والعشرين بأي حال.

وبعد اصطحابها إلى البيت، تستغرق أنت في أحلام اليقظة باسترخاء. ترى كيف ستكون الحياة إذا عشتها مع إنسانة مثلها، إذا ما قضيت معها بقية حياتك؟ لكن هناك أمر يؤرقك؛ لقد كان يلح عليك على نحو مزعج طوال اليوم.

تستدير نحو شاشة الحائط وتقول: (مولي، من فضلك اتصلي بالدكتور براون). وفجأة تشعر بالامتنان لأن الأطباء الآليين يتلقون المكالمات المنزلية في أي وقت من أوقات اليوم؛ وهم لا يشكون ولا يتدمرون مطلقًا، فليس هذا جزءًا من برامجهم.

وعلى الفور تظهر صورة الدكتور براون على شاشة الحائط، ويسألك بلهجة أبوية: (هل هناك ما يزعجك يا بني؟).

تقول: (أحتاج لأن أسألك سوءًا كان يؤرقني في الفترة الأخيرة يا دكتور).

يرد الدكتور براون: (تفضل، ما هذا السؤال؟).

تقول: (كم تظني سأعيش يا دكتور؟).

ويرد الدكتور براون: (تعني فترة حياتك المتوقعة؟ حسنًا، إننا لا نعرف هذا حقًا. تقول سجلاتك إنك في الثانية والسبعين من العمر الآن، لكن

أعضاءك، من الناحية البيولوجية، أقرب لأعضاء شخص في الثلاثين من العمر. لقد كنت جزءاً من الجيل الأول الذي أعيدت برمجته جينياً ليعيش حياة أطول، فأنت تعرف أنك قد قررت إيقاف عملية تقدم السن وأنت في الثلاثين تقريباً من العمر. ومن المعلوم أنه لم يمت عدد كاف من أبناء هذا الجيل بعد، ولا تتوافر لدينا بيانات نتعامل معها. ومن ثم فما من وسيلة لنعرف بها إلى متى سوف تعيش).

تسأل قائلاً: (إذن هل تعتقد أنني سأعيش إلى الأبد؟)  
يجيب الدكتور براون متجهماً: (تعني أن تكون خالداً؟ كلا، لا أظن ذلك مطلقاً. هناك فارق كبير بين شخص يعيش إلى الأبد وشخص بعمر مديد لم يتم حسابه حتى الآن).

تقول محتجاً: (ولكن إذا كنت لا أتقدم في العمر، فكيف لي أن أحدد متى أتزو..)، ولكنك تقطع عبارتك، ثم تردف قائلاً: (آه، حسناً.. لقد قابلت للتو إنسانة مميزة، وإذا ما افترضت أنني أريد أن أخطط لحياتي معها، فكيف أضبط مراحل حياتي مع مراحل حياتها؟). وتستطرد قائلاً: (إذا كان أفراد جيلي لم يعيشوا بعد فترة كافية قبل الموت، فكيف لي إذن أن أعرف متى يجب علي أن أتزوج، وأن أنجب، وأن أخطط للتقاعد؟ أو بالأحرى، كيف أحدد المعالم الأساسية لحياتي؟).

ويرد الدكتور براون: (ليست لدي إجابة عن أسئلة كهذه. فكما تعرف، الجنس البشري الآن بمثابة حقل تحارب من نوع ما. معذرة لك يا جون، تلك أمور مجهولة تماماً الآن).

## الأشهر القليلة التالية

تحمل لك الأشهر القليلة المقبلة مفاجأة رائعة لك ولكارين، حيث تصطحبها إلى قاعة الواقع الافتراضي، وتستمتعان كثيرًا هناك بحياة خيالية مضحكة. وكأنكما قد عدتما أطفالًا من جديد. تدخلان حجرة خالية؛ ويتم تسليط برنامج العالم الافتراضي على عدساتكما، ويتغير المشهد من حولكما على الفور. ففي أحد برامج هذا العالم، تحاولان الهروب من الديناصورات، ولكن بلا جدوى، فأينما ذهبتما وجدتما ديناصورًا آخر يظهر وسط الأدغال. وفي برنامج آخر، تقفان مخلوقات فضائية أو قراصنة يحاولون الاستيلاء على سفينتكما. وفي برنامج ثالث، تقرران تغيير نوعيكما والتحول إلى نسرين يحلقان في السماء. وفي برنامج آخر، تستمتعان بدفء الشمس على جزيرة رومانسية في البحر الجنوبي، أو ترقصان تحت ضوء القمر على صوت موسيقى هادئة تنبعث في الهواء. وبعد برهة من الزمن، ترغب أنت وكارين في تجربة شيء جديد. فبدلاً من حياة خيالية، تقرران أن تعيشا حياة حقيقية. فعندما يتاح لكما وقت فراغ تقضيان معاً فستذهبان في رحلة سريعة عبر أوروبا.

تقول لشاشة الحائط: (مولي، أنا وكارين نرغب في التخطيط لرحلة أوروبية؛ رحلة حقيقية. من فضلك قومي بمراجعة رحلات الطيران والفنادق وأي عروض خاصة، ثم اعرضي لي قائمة بالعروض أو الأحداث المحتملة التي قد تثير اهتمامنا، أنت تعرفين أذواقنا). وفي غضون دقائق معدودة، تكون مولي قد جهزت برنامجاً مفصلاً للرحلة.

وفي وقت لاحق، أثناء التمشية وسط أطلال الساحة الرومانية العامة،



يمكنكما رؤية الإمبراطورية الرومانية تُبعث من جديد عبر عدسات الاتصال، وأثناء المرور عبر الأعمدة والأحجار والأنقاض المبعثرة، تحدقان في عظمة وجلال إمبراطورية روما في ذروة مجدها.

كما يعد التسوق بمثابة متعة كبيرة، حتى عند المساومة في المتاجر المحلية في إيطاليا؛ إذ يمكنك رؤية ترجمة فورية واضحة لما يقوله الشخص الذي تتحدث معه. ولم تعد هناك حاجة للكتيبات الإرشادية والخرائط رديئة الصنع؛ فكل شيء موجود في عدسات الاتصال.

وفي المساء، عندما تحدق في سماء روما ليلاً، ترى النجوم مرتبة بوضوح في مجموعات من خلال عدسة الاتصال. وعندما تلقي نظرة سريعة عبر السماء، ترى صوراً مكبرة لحلقات كوكب زحل، والمذنبات البعيدة، وسحب الغاز الجميلة، والنجوم المتفجرة.

وفي يوم من الأيام، تكشف كارين أخيراً عن أحد أسرارها، وهو عمرها الحقيقي، إنها في الحادية والستين. ولكن هذا الأمر لم يعد مهماً بحال بالنسبة لك.

تسألها: (إذن هل تشعرين بسعادة أكبر لأننا نعيش شباباً كل هذا الوقت؟)

وترد على الفور: (نعم، نعم! أتعلم، لقد عاشت جدتي في زمن كانت النساء فيه تتزوج، وتكون أسرة، وربما تن تحت ضغوط الوظيفة كذلك. لكنني أحب الشعور بأن روحي تجسدت ثلاث مرات، بثلاث وظائف مختلفة؛ أولاًها حيث عملت مرشدة سياحية في عدة بلدان، وسافرت إلى جميع أنحاء العالم، كانت حياة رائعة. إن صناعة السياحة صناعة ضخمة،

وتوفر فرص عمل عديدة. ولكنني بعد ذلك، أردت عمل شيء أكثر ملاءمة؛ فأصبحت محامية أدافع عن القضايا التي أوّمن بها والأشخاص الذين أهتم لأمرهم. ثم قررت أن أشبع الجانب الفني في كياني فأسست شركة تصميم الويب الخاصة بي. هل تعلم أنني أفتخر لكوني لم أستخدم روبوتًا آليًا قط، فليس هناك روبوت يستطيع أن يكون مرشدًا سياحيًا شخصيًا، أو أن يفوز بقضية في المحكمة، أو أن ينتج عملاً فنيًا جميلًا).

تحدث نفسك قائلاً: إن غداً لناظره قريب.

ثم تسألها: (وهل تخططين لوظيفة رابعة؟)

فتبتسم في وجهك وتجيّب: (حسنًا، ربما، إذا ما ظهر لي شيء أفضل). وأخيرًا تقول لها: (كارين، بما أن عملية الشبخوخة قد توقفت، فكيف تعرفين ما هو الوقت المناسب من أجل... نعم... من أجل الزواج، وإنجاب الأطفال، ورعاية الأسرة؟ لقد اختفت الساعة البيولوجية منذ عقود مضت؛ ولذا أعتقد أن الوقت ربما قد حان للاستقرار وتكوين أسرة). تقول كارين وقد بدت مندهشة إلى حد ما: (أتعني إنجاب الأطفال؟ هذا أمر لم أفكر فيه جديًا من قبل، أعني حتى الآن. فالأمر كله يعتمد على لقاءتي بالإنسان المناسب)، تقول تلك العبارة الأخيرة وهي تبتسم لك ابتسامة لعوب. وفيما بعد، تناقش أنت وكارين مسألة الزواج، والاسم الذي قد تختارانه لطفلكما، وكذلك الجينات التي تريدانها فيه.

توجه نحو شاشة الحائط وتقول: (مولي، هل يمكنك أن تعرضي لي قائمة بأحدث الجينات التي صادقت عليها الحكومة؟). وفي الوقت الذي تستعرض فيه أنت القائمة، ترى الجينات العديدة للون الشعر، ولون

العينين، والطول، وبنية الجسم، وحتى بعض السمات الشخصية التي يتم عرضها في الوقت الحالي. ويبدو أن تلك القائمة آخذة في التزايد مع كل عام يمر، وكذلك ترى القائمة الطويلة للأمراض الوراثية التي يمكن علاجها. ولما كان تليف المثانة مرضًا يصيب عائلتك منذ قرون، فإنك تشعر بارتياح حقيقي لأنك لست مضطرًا للقلق بشأنه بعد الآن.

وفي الوقت الذي تستعرض فيه قائمة الجينات المعتمدة من قبل الحكومة، تشعر أنك لست مجرد والد مستقبلي فحسب، وإنما مشارك بشكل ما في إنجاب طفل على الصورة التي تريدها.

ومن ثم تخبرك مولي قائلاً: (هناك برنامج يمكنه تحليل الحمض النووي للمواليد ثم يعطي تقديرًا معقولاً لما سيبدو عليه وجه الطفل وجسده وشكله وشخصيته. هل ترغب في تنزيل هذا البرنامج ومعرفة الشكل الذي قد يبدو عليه طفلك في المستقبل؟)

فتجيب قائلاً: (كلا، من الأفضل أن تبقى بعض الأشياء مجهولة).

## بعد مرور عام

أصبحت كارين حاملاً، ولكن أطباءها أكدوا لها أنه ليس هناك خطر في ركوب مصعد الفضاء، الذي افتتح مؤخرًا للسائحين.

تقول لكارين: (أتعلمين أنه عندما كنت طفلاً، كنت أتمنى السفر إلى الفضاء الخارجي؛ وأن أكون رائد فضاء. ولكنني في يوم من الأيام فكرت في مسألة التواجد فوق ملايين الجالونات من الوقود الصاروخي الذي يمكن أن ينفجر بسبب شرارة واحدة، وأخذ حماسي للسفر إلى الفضاء

يخفت إلى حد ما. ولكن مصعد الفضاء مختلف، إنه آمن ولا ينطوي على أي قدر من الفوضى، إنه الوسيلة المثالية للسفر إلى الفضاء).

وبعد دخولك أنت وكارين إلى المصعد، ترى المشغل يضغط زرًا يبدو كزر صعود، فتشعر أنك ترتفع إلى الفضاء الخارجي؛ ويمكنك كذلك أن تشعر بالتسارع البطيء مع الارتفاع السريع في الهواء، حيث تشير قراءة عداد المصعد إلى: 10 ميلات، 20 ميلًا، 30 ميلًا...

وفي الخارج، ترى المشهد يتغير ثانية تلو الأخرى. وفي لحظة، تجد نفسك محددًا في سحب رقيقة تمر إلى جوارك في الوقت الذي ترتفع فيه في طبقات الجو العليا. ويتغير لون السماء من الأزرق إلى الأرجواني ثم إلى الأسود القاتم، وأخيرًا ترى النجوم محيطة بكل لمعانها وروعها، وتبدأ في التعرف بصعوبة على مجموعات النجوم وهي تتألق على البعد كما لم ترها من قبل قط، إنها لا تومض كما تبدو عند النظر إليها من الأرض، وإنما تلمع متألقة، كما كان حالها دومًا طوال مليارات السنين.

يبدأ المصعد في التوقف ببطء على بعد نحو 100 ميل من سطح الأرض. وفي الأرض، ترى مشهدًا مبهرًا لم تره أبدًا من قبل سوى في الصور والأفلام. فعندما تنظر لأسفل، ترى الأرض في صورة جديدة تمامًا عليك؛ ترى المحيطات، والقارات، وأضواء المدن الكبرى تلمع ويصل ضوءها إلى الفضاء الخارجي.

من الفضاء، تبدو الأرض ساكنة هادئة لدرجة يصعب معها أن تصدق أن الناس أراقوا الدماء فيما مضى في حروب على حدود تافهة بغیضة، بل ما تزال مثل هذه الدول المتحاربة موجودة إلى الآن، لكنها تبدو شاذة وغريبة،

وأقل اتصالاً بعالم اليوم، وبعصر أصبحت فيه الاتصالات آتية وكلية. وعندما تضع كارين رأسها على كتفك، توقن أنك تشهد ميلاد حضارة كوكبية جديدة، وأن طفلك القادم سيكون من بين أوائل مواطني تلك الحضارة. وبعدها تخرج من جيبيك الخلفي كتاباً قديماً مهترئ الأوراق وتقرأ لها كلمات شخص مات منذ أكثر من 100 عام مضت، إنها كلمات تذكر كما بالتحديات التي يجب على البشرية مواجهتها قبل قيام تلك الحضارة الكوكبية. فقد كتب المهاتما غاندي<sup>(1)</sup>:

جذور العنف هي:

الثروة بلا عمل،

المتعة بلا ضمير،

المعرفة بلا فضيلة،

التجارة بلا أخلاق،

العلم بلا إنسانية،

العبادة بلا تضحية،

السياسة بلا مبادئ.

(1) مهاتما غاندي Mahatma Gandhi: سياسي بارز وزعيم الهند الروحي خلال حركة استقلال الهند. كان رائدًا لحركة الساتياغراها وهي مقاومة الاستبداد من خلال العصيان المدني الشامل، والتي أدت إلى استقلال الهند وألهمت الكثير من حركات الحقوق المدنية والحرية في جميع أنحاء العالم. (المترجم)

## ميتشيو كاكو

• هو بروفيسور لمادة الفيزياء النظرية في جامعة سيتي في نيويورك، أحد المؤسسين لنظرية الأوتار الفائقة، وهو أيضاً مؤلف لأكثر من كتاب علمي ظلت على قائمة أعلى الكتب مبيعاً لمدة طويلة في مكتبات العالم، منها: (الفضاء المتعدد الأبعاد وكتاب فيزياء المستحيل)، كما أنه يقدم أحد أكثر البرامج التلفزيونية العلمية شعبية. وإضافة إلى ذلك فهو يقدم برنامجين إذاعيين هما: (البحث والعلم المدهش)، تذاع عبر أكثر من 140 قناة.

• ترجم له إلى العربية: (ما بعد أينشتين، كيف سيغير العلم مستقبلنا في القرن الواحد والعشرين).

• عمل محرراً صحفياً ومحرراً علمياً لدى العديد من الصحف العربية والدولية والمواقع الالكترونية، منها: (صحيفة الاقتصادية السعودية وصحيفة الجزيرة السعودية وصحيفة الشرق الأوسط اللندنية ومجلة المجلة اللندنية وموقع العربية نت)، كما عمل محرراً ومترجماً أول بمشروع كلمة في أبو ظبي، والمركز القومي لترجمة بالقاهرة، ومن بين الأعمال المترجمة المنشورة للمشروع: (الاضطراب المناخي)، و(عندما يضل العلم الطريق)، و(بستان غير منظور: التاريخ الطبيعي للبذور)، و(على خطى الصين يسير العالم).

العربية

إن التنبؤ بعالم 2100 مهمة مرعبة،  
إذ إننا نعيش حقبة ثورة علمية  
نافذة التأثير، يتسارع فيها دائماً  
إيقاع عجلة الاكتشافات. وقد تراكم  
من المعرفة العلمية في العقود القليلة  
الماضية فقط أكثر مما تراكم خلال  
التاريخ الإنساني بأسره. وبحلول  
عام 2100 سوف تتضاعف هذه  
المعرفة من جديد عدة مرات.

يفحص هذا الكتاب عن كتب أعمال  
العلماء الرواد الذين يشيدون نماذج  
مبدئية لتقنيات من شأنها أن تغير  
وجه مستقبلنا. فهذا الكتاب ليس  
عملاً من أعمال الخيال العلمي، وليس  
نتاجاً ثانوياً لخيال شطح بأحد  
مؤلفي سيناريوهات هوليوود، وإنما  
يقوم على أساس علمي متين من  
تجارب تجرى اليوم بكبريات المعامل  
والمختبرات في جميع أنحاء العالم.